

TREBALL FI DE GRAU

Grau en Enginyeria de la Energia

**DISSENY D'UN SISTEMA DE GESTIÓ D'ENERGIA PER A UNA
VIVENDA UNIFAMILIAR**



Memòria i Annexos

Autor: Guifré Aragonès Tena
Director: Robert Piqué
Convocatòria: MAIG 2017

Resum

El canvi climàtic és una realitat cada cop més acceptada, malgrat això és difícil generar en la població una actitud activa al respecte. És important seguir innovant i generar eines que puguin arribar al màxim de persones per tal de que puguem entre tots frenar el major enemic actualment de la humanitat, el canvi climàtic.

Amb aquest projecte es vol mostrar el procés de disseny d'un sistema de gestió d'energia (EMS) que es pugui aplicar al major nombre de llars actualment, on qualsevol llar connectada a una xarxa convencional pugui autoabastir-se mitjançant els recursos naturals i a més aportar el seu excedent a la xarxa, tot això amb una gestió intel·ligent de l'energia.

El projecte pren uns marcs lògics com són l'eficiència energètica i la ISO 50001 juntament amb un marc físic de sistema de gestió d'energia intel·ligent per aconseguir aquesta fita. Un cop s'ha fet el disseny es proposa una aplicació en una vivenda concreta i s'hi estudien les modificacions a realitzar acabant el treball amb una simulació diària i setmanal del comportament del gestor d'energia en certs escenaris reals.

Resumen

El cambio climático es una realidad cada vez más aceptada, sin embargo es difícil generar en la población una actitud activa al respecto. Es importante seguir innovando y generar herramientas que puedan llegar al máximo de personas a fin de que podamos entre todos frenar el mayor enemigo actualmente de la humanidad, el cambio climático.

Con este proyecto se quiere mostrar el proceso de diseño de un sistema de gestión de energía (EMS) que se pueda aplicar al mayor número de hogares actualmente, donde cualquier hogar conectado a una red convencional pueda autoabastecerse mediante los recursos naturales y además aportar su excedente a la red, todo ello con una gestión inteligente de la energía.

El proyecto toma unos marcos lógicos como son la eficiencia energética y la ISO 50001 junto con un marco físico de sistema de gestión de energía inteligente para conseguir este objetivo. Una vez se ha hecho el diseño se propone una aplicación en una vivienda concreta y se estudian las modificaciones a realizar terminando el trabajo con una simulación diaria y semanal del comportamiento del gestor de energía en ciertos escenarios reales.

Abstract

Climate change is an increasingly accepted reality, however it is difficult to generate an active attitude in the population. It is important to continue to innovate and generate tools that can reach the maximum amount of people so that we can, together, curb the greatest enemy of humanity today, climate change.

This project shows the process of designing an energy management system (EMS) that can be applied to the largest number of households today, where any household connected to a conventional network can self-supply itself through natural resources and also contribute its surplus to the network, all this with an intelligent management of the energy.

The project takes some logical frameworks such as energy efficiency and ISO 50001 along with a physical framework of a smart energy management system to achieve this goal. Once the design has been made, an application is proposed in a concrete house with all the modifications required, finishing the project with daily and weekly simulation of the behavior of the energy manager in certain real scenarios.



Agraïments

A en Robert Piqué per la paciència i el guiatge en el desenvolupament del projecte.





Índex

RESUM	I
RESUMEN	II
ABSTRACT	III
AGRAÏMENTS	V
1. INTRODUCCIÓ	3
1.1. Objectius del treball	3
1.2. Abast del treball	4
1.3. Marc lògic	5
1.3.1. ISO 50001:2011	5
1.3.2. Eficiència energètica	7
1.3.3. Aplicació de les polítiques al projecte	8
1.4. Marc físic	9
1.4.1. Micro-Xarxa	9
1.4.2. EMS	12
1.5. Normativa aplicable	16
1.5.1. Real decret 900/2015	16
1.5.2. Resum de les diferències en costos i condicions depenent de la modalitat i elecció	21
2. DISSENY DEL SISTEMA DE GESTIÓ D'ENERGIA (HEMS)	23
2.1. Introducció	23
2.1.1. Nivell estratègic	23
2.1.2. Nivell tàctic	23
2.1.3. Nivell Operacional	24
2.2. Tasques del EMS	24
2.3. Fluxos de potència	24
2.4. Estats dels elements de la xarxa i diagrama d'estats	25
2.5. Diagrames de flux de potència dels blocs de la microxarxa i funcionalitat	30
2.5.1. Xarxa convencional	30
2.5.2. Instal·lació fotovoltaica	32
2.5.3. Banc de bateries	34
2.6. Modelització del pseudocodi del EMS	36
2.6.1. Glossari de les variables	36

2.6.2.	Pseudocodi de la xarxa elèctrica.....	37
2.6.3.	Pseudocodi de la instal·lació fotovoltaica	37
2.6.4.	Pseudocodi del banc de bateries.....	38
2.7.	Aplicació del HEMS a una vivenda concreta	38
2.7.1.	Passos de la implementació.....	38
2.7.2.	Diagrama de flux de la implementació.....	39
3.	PROJECTE D'APLICACIÓ A L'HABITATGE UNIFAMILIAR	41
3.1.	Emplaçament.....	41
3.2.	Situació inicial	42
3.3.	Introducció dels blocs	43
3.4.	Carregues i perfils de carregues	44
3.4.1.	Anàlisi de les carregues existents.....	45
3.4.2.	Perfils de carregues particulars.....	47
3.4.3.	Perfils de carregues generals	56
3.5.	Generació fotovoltaica	58
3.5.1.	Introducció	58
3.5.2.	Elecció de la tecnologia.....	59
3.5.3.	Càlculs del perfil de generació	62
3.6.	Banc de bateries	65
3.6.1.	Introducció	65
3.6.2.	Elecció del banc de bateries.....	65
3.6.3.	Dimensionament del grup de bateries primari	66
3.6.4.	Selecció del grup de bateries	67
3.6.5.	Selecció del segon grup de bateries	68
3.6.6.	Regulació del banc de bateries	68
3.7.	Escenaris possibles i elecció	69
3.7.1.	Presentació dels escenaris.....	69
3.7.2.	Taula comparativa dels escenaris	71
3.7.3.	Raonament de l'elecció.....	73
3.8.	Xarxa elèctrica.....	74
3.9.	Equips de mesura i comptadors.....	75
3.10.	Adaptació del HEMS a l'habitatge particular	76
3.11.	Plataforma física del HEMS.....	77
3.12.	Simulació del comportament de la microxarxa	79
3.12.1.	Simulació 29/10/2016.....	79
3.12.2.	Simulació setmanal	84

3.12.3. Simulació setmanal amb desconexió de la xarxa convencional durant tres dies	91
3.12.4. Anàlisi dels resultats de la simulació	96
3.13. Anàlisi de l'impacte ambiental.....	97
CONCLUSIONS	99
Objectius personals assolits.....	99
Objectius assolits pel treball	99
Continuació del treball.....	100
PRESSUPOST I ANÀLISI ECONÒMICA	101
Pressupost del material	101
Pressupost de la mà d'obra	102
Anàlisi del pressupost i viabilitat econòmica	102
BIBLIOGRAFIA	105
ANNEX A	107



1. Introducció

1.1. Objectius del treball

El treball presenta diversos objectius inicials a complir, s'exposaran a continuació i malgrat la seva importància és diferent es seguirà l'ordre en el que apareixen en aquest.

Primerament es vol assolir coneixements en afrontar un projecte de manera ordenada, amb bons fonaments i bones formes, malgrat aquest objectiu no té a veure amb la temàtica d'un treball concret aquest és un dels coneixements més valuosos que se'n poden extreure.

Delimitar el disseny d'un element en concepte i lògica i posteriorment materialitzar-lo en un entorn físic i donar-li vida, aprendre a delimitar i posar ordre en la concepció d'un producte assegura que aquest té més possibilitats d'arribar a bon fi.

La comprensió de la legislació actual de l'estat espanyol en matèria energètica i concretament de l'autoconsum i petita producció, comprendre la viabilitat d'aquests conceptes en el marc legislatiu actual i diferenciar les varies opcions disponibles al consumidor/productor particular.

Aconseguir un disseny eficient d'un gestor intel·ligent d'energia que pugi autogestionar l'energia d'una llar i pugui respondre a esdeveniments de manera correcta.

Aplicar el disseny plantejat a una vivenda concreta i veure com es portaria a fi aquesta aplicació de tecnologia a la realitat, a més de garantir 3 dies de temps de desconnexió assegurats.

Finalment veure la viabilitat d'aquesta aplicació mitjançant simulacions de perfils de carregues i generació tan a nivell de funcionament del sistema com a nivell de la inversió econòmica i el retorn d'aquesta.

1.2. Abast del treball

El treball es mantindrà dins el marc de competència de l'especialitat d'enginyeria de la energia i el fonament d'aquest serà el disseny i simulació d'un gestor d'energia intel·ligent.

Pel que fa les respostes dels sistemes i els blocs s'estudiarà les respostes a mig o llarg termini i mai a nivell instantani o transitori.

En el disseny i el dimensionament dels blocs de control se'ls dimensionarà degudament però no es farà especial èmfasi en les seves connexions o la seva particularitat a nivell elèctric ja que la finalitat principal és la gestió d'energia i la seva simulació. Per tant els blocs no s'estudiaran a nivell unifilar en cap d'ells.

1.3. Marc lògic

Per a que un projecte com aquest pugi ser afrontat amb èxit tan en la resolució de la tasca com en la comprensió del estat inicial, és molt important dotar-lo d'un bon marc lògic en el que es basarà el treball per raonar les decisions que es pondran al llarg de tot ell.

Primerament s'estableix un marc normatiu que ha estat en aplicació des del 2011 com és el de la ISO 50001, el qual ens guiarà a l'hora de prendre bons procediments per afrontar els problemes que vagin apareixent [1]. Per altre banda s'estableix un marc conceptual que s'adeqüi a la finalitat del projecte i com no podria ser altre és el de la eficiència energètica que aplicarem en la seva finalitat en cada decisió que prenguem.

1.3.1. ISO 50001:2011

La norma ISO 50001:2011 establirà un marc lògic en el que recolzar-se a l'hora d'establir els processos en el projecte, aquesta té un caràcter de constant millora i renovament i ajudarà a estar sempre al corrent de la normativa vigent i com aplicar-la, també serà molt útil a l'hora de valorar entre diferents opcions ja que estableix uns patrons clars i funcionals per a la seva aplicació [2].

També te en compte la importància actual de la eficiència no només energètica sinó econòmica ja que ens ajudarà a establir mecanismes constants de reducció de costos en la nostra empresa o projecte.

Els seus objectius principals són els següents:

- Fomentar la eficiència energètica
- Fomentar l'estalvi energètic
- Fomentar la millora en l'ús energètic
- Disminuir la emissió de gasos que provoquen el canvi climàtic
- Garantir el compliment de la normativa vigent en matèria energètica
- Incrementar l'aprofitament de les energies renovables i excedents
- Millora en la gestió de la demanda energètica

Aquesta segueix un procés constant de marcar objectius a diferents terminis i magnituds al llarg de tots els aspectes i departaments, un cop estan establerts es marca una data de re-avaluació per veure si aquests s'han aconseguit complir.

Aquest aspecte és especialment interessant en una empresa ja que ajuda que els diferents equips i seccions es puguin marcar diferents metes que malgrat no ser les mateixes apunten a un fi comú.

En el següent diagrama es pot veure la característica cíclica d'aquesta practica i les diferents maneres que es té per poder avaluar l'èxit o no de les mesures proposades i portades a terme.

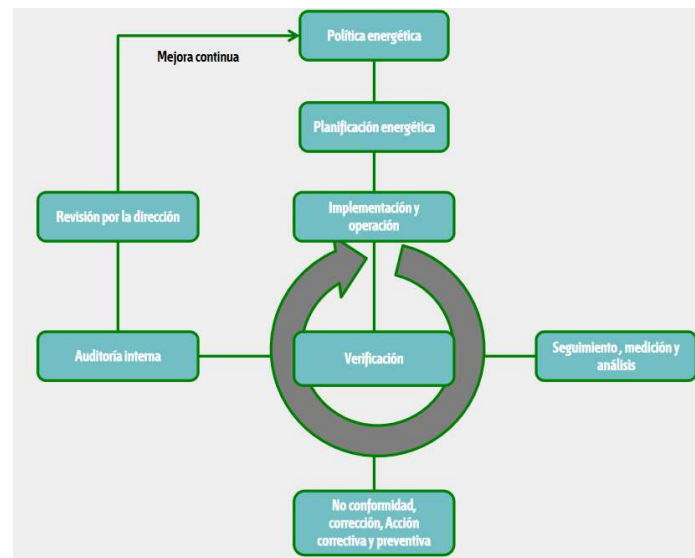


Figura 1.1. Diagrama d'aplicació ISO 50001:2011 (Font: AENOR)

Les polítiques energètiques es definiran en el següent apartat 1.3.2 seguidament s'hauria d'avaluar la situació actual de l'empresa/projecte i això es fa amb una auditoria d'eficiència energètica, aquesta ja que en el cas d'aplicació d'aquest projecte l'objecte és un edifici procedirà amb els següents paràmetres:

- Edificis auditats
- Comportament energètic del edifici
- Característiques tècniques del edifici
- Sistema energètics de dins i fora l'edifici
- Pautas i valors indicadors per l'edifici auditat

Dels quals necessitarà treure informació com els perfils de càrrega i consum de l'edifici tan a curt termini com a llarg termini, els plànols i dissenys de les solucions tècniques implementades en ell, documentació arquitectònica, carregues primàries i secundaries detallades... Tots aquets paràmetres i metodologia d'auditoria amb els indicadors regulats i els formularis pertinents es faran seguint la normativa internacional EN 16247-2:2014 que s'aplica als edificis [2].

1.3.2. Eficiència energètica

El concepte d'eficiència energètica n'és un de força senzill però molt potent, es basa en fer el millor ús de l'energia que tenim al nostre abast i que aquesta mai es malgasti, a més seguint les polítiques de millora constant que ens aporta la ISO 50001:2011 podem assegurar-nos d'assolir els seus objectius primaris, que són:

- Sostenibilitat energètica
- Abastiment energètic assegurat
- Major competitivitat econòmica
- Ajuda a combatre el canvi climàtic
- Major rendiment de l'energia consumida

Els conceptes del procés d'eficiència energètica són molt clars, primerament cal fer un ús raonable de l'energia que tenim al nostre abast i no per tenir-ne molta de disponibles es correcte fer-ne un mal ús.

També ajuda a assegurar que tothom pugui accedir a aquesta energia i que la gent pugui dependre d'ella ja que la seva disposició estigui assegurada.

Dos conceptes que van de la mà són el d'augmentar el rendiment de l'energia que consumim i el de ser més competitius econòmicament, ja que al augmentar l'eficiència dels processos reduïm els costos amb el mateix treball i això al final acaba fent una entitat més atractiva econòmicament que una altra que malgasti la seva energia.

Finalment el que és potser el punt més important i és que el major enemic actualment del planeta és el canvi climàtic i si no aconseguim canviar els processos i les mentalitats de molta gent estem corrent en una carrera perduda.

Per tant cal introduir aquestes polítiques en tots els àmbits possibles i que arribin al màxim de gent [3][6].

1.3.3. Aplicació de les polítiques al projecte

En el projecte es seguiran les polítiques que es recullen en la norma ISO 50001:2011 sempre seguint el concepte d'eficiència energètica, es seguiran un seguit de punts pels quals s'anirà passant per poder procedir amb el projecte. En l'apartat 2.7 d'aquest treball es va en més detall sobre l'aplicació concreta d'aquests punts.

- Procés previ: Auditoria de l'estat actual de l'habitatge unifamiliar
- 1. Recull d'informació de les tecnologies disponibles i la normativa vigent
- 2. Estudi de l'aplicació d'aquestes tecnologies a l'habitatge en qüestió
- 3. Optimització dels paràmetres dels elements instal·lats
- 4. Avaluació del resultat de les mesures preses
- 5. Re-avaluació posterior per a la continua millora de la instal·lació

1.4. Marc físic

La implantació que es vol fer a l'habitatge és la de una xarxa elèctrica en la que es tindrà generació, consum, emmagatzemament i regulació intel·ligent d'energia, aquest concepte es coneix amb el nom de microxarxa i s'està estenent cada cop més arreu del món.

En els següents apartats s'explica aquesta tecnologia a nivell teòric i com poden afectar una instal·lació existent a nivell d'eficiència energètica, reducció de costos i ajuda a combatre el canvi climàtic.

A més també s'introdueixen alguns exemples de projectes similars on ha estat un èxit la seva implantació i veurem les peculiaritats que té aplicar un concepte tan gran a casos particulars.

1.4.1. Micro-Xarxa

Una micro-xarxa succeeix quan es crea a petita escala i de manera descentralitzada les funcions que ja tindria la xarxa elèctrica convencional, aquesta tindrà funcions de generació, transport, emmagatzematge i distribució però amb la única finalitat d'abastir un petit nombre de consumidors o fins i tot un únic consumidor com és el cas d'aplicació d'aquest projecte.

Tot i així les micro-xarxes poden arribar a ser força grans, de fins a 100 kW o més, també pot ser que estiguin connectades a la xarxa convencional o pel contrari que treballin cent per cent aïllades d'ella i cada una compleix els pilars bàsics pels que es constitueix una microxarxa independentment.

Cada cop més apareix el concepte de *smart microgrid* quan parlem de micro-xarxes, aquest ens ve a partir de la introducció de la electrònica de potència a aquestes petites xarxes i s'encarrega de fer el control, balancejar i controlar que les nostres línies, flux de potència i necessitats estiguin equilibrades i assegurades en tot moment.

Dos conceptes que van bastant de la mà ja que si s'opta per un inevitablement acabaràs aplicant l'altre, són el de tenir una xarxa aïllada de la xarxa convencional i l'altre és la d'introducció de generadors convencionals en cas de falta d'energia com seria un generador elèctric de combustibles fòssils.

I pot ser que sigui un debat en si mateix, ja que el fet de voler tornar la teva xarxa totalment independent de la xarxa convencional et fa recórrer a una tecnologia força nociva i poc eficient, en

l'apartat 3 d'aplicació del projecte a una vivenda concreta ja s'exposa per quina variant de microxarxa es decanta el projecte i per quins motius s'ha decidit.

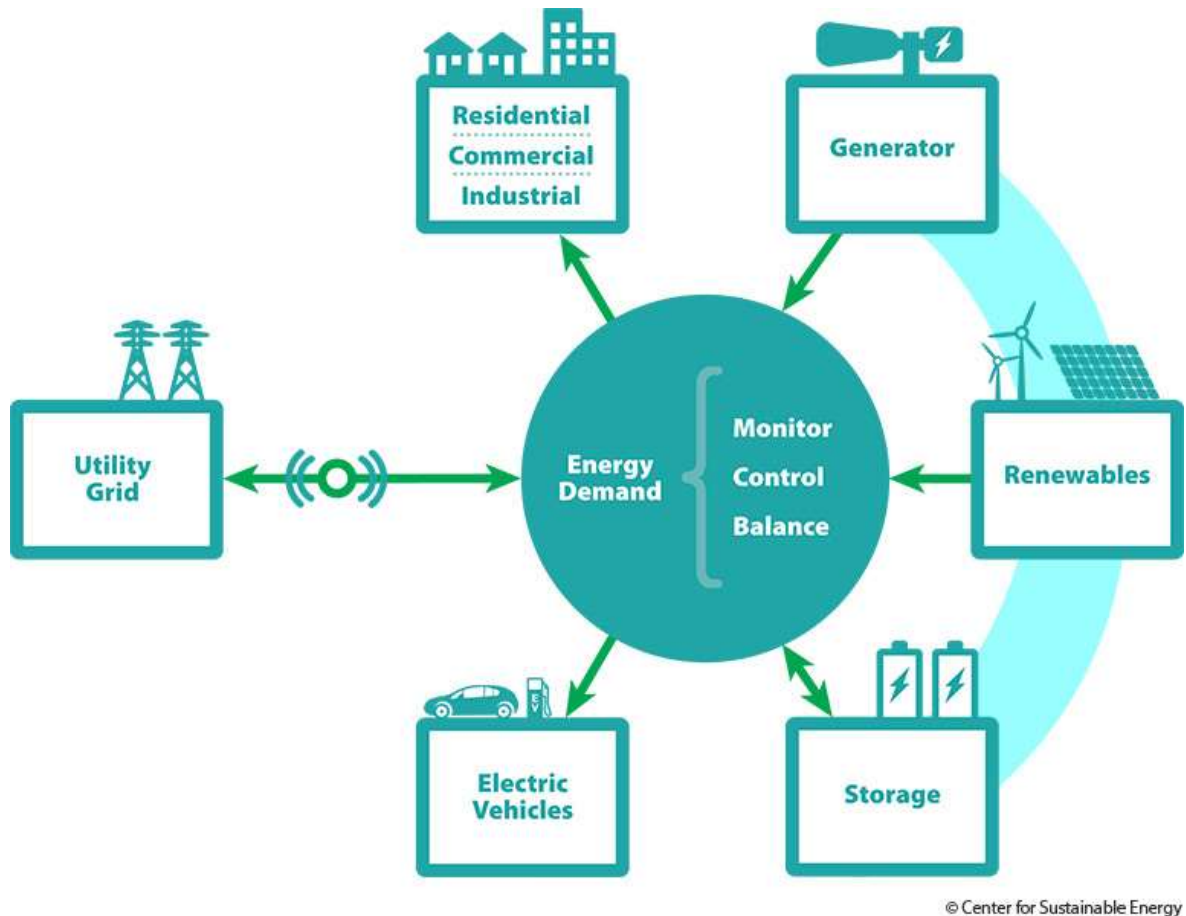


Figura 1.2. Diagrama d'una micro-xarxa (Font: Center for Sustainable Energy)

Un altre punt important de les micro-xarxes és que sempre estan construïdes de forma modular, és a dir que en la formació d'una gran microxarxa sempre es partirà de la formació de moltes de petites que se li han anat unint i que són perfectament funcionals individualment, aquest concepte es important ja que garanteix un bon equilibri dins la mateixa xarxa i fa que totes les parts d'aquesta siguin estables.

Pel que fa als factors de millora que presenta aquesta tecnologia respecte a mantenir-se en la distribució de carregues convencional n'hi ha molts, en els següents punts s'exposa els més importants i que ajudaran a veure perquè una microxarxa és tan atractiva:

- Abastiment assegurat per als consumidors connectats
- Reducció de costos i eficiència gracies a l'autogeneració
- Més respecte pel medi ambient per la generació amb renovables
- Més control sobre l'energia que es consumeix
- Fàcil introducció de la xarxes intel·ligents amb gestió autònoma (SMART GRID)

Ara s'anomenaran alguns dels casos d'aplicació de xarxes més i menys grans on han aconseguit formar una microxarxa amb generació per renovables provocant grans estalvis tan a l'estat com als consumidors que en formen part.

- Bases navals militars (NAVY'S)

Hi ha bases que ja han assolit generar-se fins al 50% de la seva energia amb autogeneració per vies renovables, i tenen un pla per assolir aquesta fita en totes les bases pel 2020.

- Universitat de Califòrnia, San Diego

Una impressionant micro-xarxa de 42 MW que genera més del 90% del consum tèrmic i elèctric per autogeneració i també inclou sistema d'emmagatzemament que ha estat premiat i incentivat nacionalment.

- *Borrego Springs*

Una xarxa de 3500 consumidors que funciona a base de panells fotovoltaics, turbines, sistema d'emmagatzemament i que amb els excedents subministren punts d'alimentació per a vehicles elèctrics.

Com es pot comprovar la tecnologia és viable, més eficient que la convencional i funciona, però per fer-ho cal que la normativa del país permeti progressar en ella, i més que una barrera sigui una eina per a que tothom pugui aprofitar els recursos naturals disponibles.

A espanya això no passa i de xarxes com aquestes n'hi ha força poques, en l'apartat següent de normativa es veurà com funciona la normativa nacional d'autogeneració i les mancances que té [3][4][5][6][7].

1.4.2. EMS

El concepte de HEMS prové de *energy management system* i va molt lligat a on en l'apartat anterior s'exposava el concepte de microxarxa intel·ligent però aplicat a un habitatge *home*.

Aquest tipus de sistema aplica tecnologies d'electrònica de potència per controlar la xarxa independentment de la seva mida per tal que aquesta sigui estable i eficient.

Un sistema EMS es basa conceptualment en dues tecnologies, la CIM y SCADA.

1.4.2.1. CIM

El concepte CIM prové de les sigles de *Computer-integrated Manufacturing* i es refereix a donar les responsabilitats de la producció a un poder computacional, normalment es representa de forma piramidal i s'analitza per nivells de control de més generals a més concrets on finalment s'actua físicament sobre el procés.

Un exemple seria en una cadena de producció a dalt de tot de la piràmide hi hauria "producció del producte x", en un nivell entremig hi hauria "procés de pintat" o "transport fins a maquina de plegat" i en l'últim nivell hi hauria "actuar la vàlvula A" o "engegar el motor 3".

A l'hora de la veritat no funciona així ja que la majoria de nivells estan determinats pel poder computacional de la maquina, començant per grups de servidors, ordinadors, grups de PLCs, PLCs i finalment sí, sensors i actuadors.

Aquesta seria una piràmide CIM més realista de com ens la trobaríem en una empresa que tingui implementada aquesta tecnologia.

Aquest concepte piramidal de control esta molt utilitzada en el món empresarial i industrial on s'adapta a cada utilització particular de manera molt practica, sempre seguint un sentit descendent en la quantitat d'informació i ascendent en la velocitat de cada etapa.

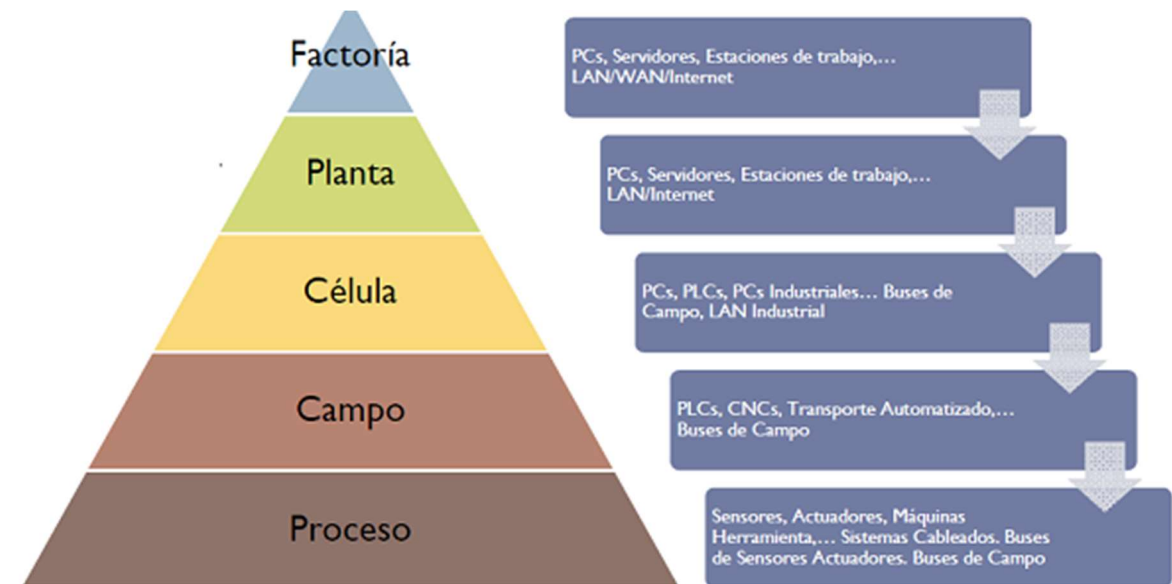


Figura 1.3. Diagrama d'una piràmide CIM (Font: Automatització Industrial URP)

1.4.2.2. SCADA

El concepte d'SCADA prové de sigles de *Supervisory Control and Data Acquisition* que en la seva traducció seria Control supervisor i adquisició de dades, i seria el control software que aplicariem a un conjunt computacional de control com seria una piràmide CIM.

Aquest té un sistema central que controla un conjunt de processos de manera automàtica, ho fa llegint dades a partir de sensors i al analitzar aquestes procedeix a donar ordres a PLCs i actuadors.

Pel que fa el tipus de SCADA n'hi ha de dos tipus:

- Realimentats:

En que el sistema un cop ha donat les seves ordres a partir de les variable llegides i ha arribat al final del procés, arriba a un valor i el torna al pas inicial per seguir en una constant correcció i actuació.

- No realimentats:

El sistema procedeix a actuar a partir de unes variables llegides però aquest cop ja no retorna aquestes noves variables actualitzades al principi d'aquest per a la seva re-avaluació.

Quan s'utilitza el concepte SCADA engloba tan el software com el hardware ja que l'un no funcionaria sense l'altre i és important fer una bona elecció del binomi per que aquets operin amb harmonia un cop comença el seu funcionament autònom.

Un dels programes software més utilitzat per a la gestió d'un SCADA és un que ja s'ha utilitzat al llarg de la carrera d'energia i es diu LabView, en aquest es molt fàcil configurar targetes de lectura i amb simples blocs es pot configurar processos molt complexos.

També és molt útil el programa per al enregistrament de totes les accions preses i té grans compatibilitats amb la majoria d'actuadors, PLCs, altres softwares i com no les targetes de lectura.

En el següent esquema en un punt SCADA llegeix els valors del sensor de velocitat i li dona l'ordre a la bomba per a que ajusti la seva velocitat per arribar al valor consigna. En el segon punt SCADA llegeix el valor del nivell amb un sensor i llavors dona ordre a la vàlvula d'obertura perquè ajusti fins arribar al nivell consigna.

Simple SCADA system

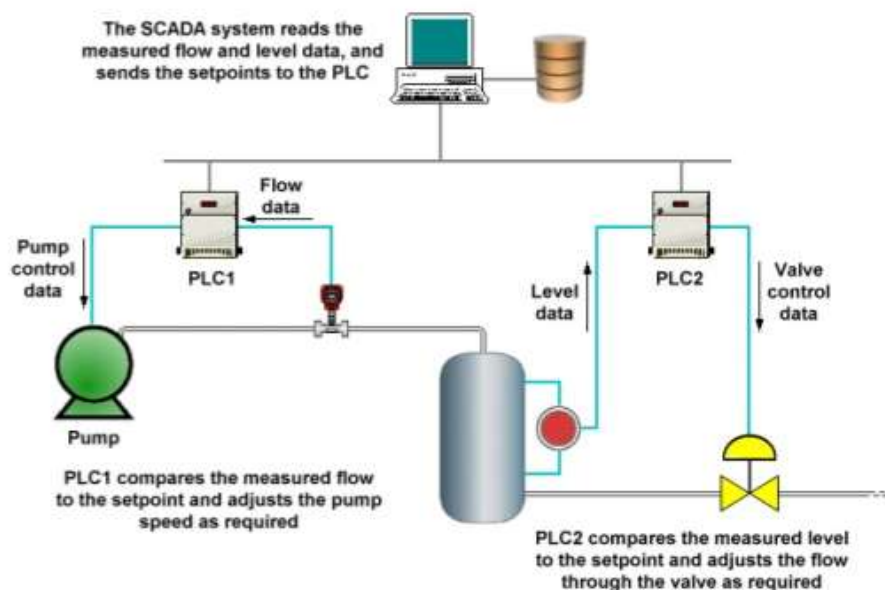


Figura 1.4. Diagrama d'un Sistema SCADA (Font: First Base Technologies)

1.4.2.3. Aplicació en la gestió d'energia domestica i plataforma física

Aquesta gestió en un entorn domèstic de microxarxa es centrarà en fixar les connexions i els flux de potència dels diferents blocs de l'habitatge, en aquests flux aplicarà tasques d'estalvi energètic, administració d'energia generada, abocaments d'energia a la xarxa convencional i fins i tot s'introduirà el concepte de *peak-shaving* on es limita el màxim de potència a absorbir de la xarxa.

A partir de sensors de les potències disponibles i les condicions en que es trobi en cada moment la xarxa aquest gestor intel·ligent haurà de decidir què connectar o desconnectar i quina potència haurà de subministrar.

Pel que fa la plataforma física d'actuació hi ha forces opcions de mercat compactes en les que es pot aplicar el codi desitjat i elles mateixes ja ofereixen diversos inputs de lectura i de actuació, a més ofereixen canals de comunicació com *ethernet* o *wifi* per poder actualitzar aquest codi al nostre gust. Aquests mateixos mòduls ja incorporen inversors i transformadors per tenir un transit lliure d'energia en tota la instal·lació.

Si aquesta opció no es veïés prou interessant s'hauria de construir un equip a mida aparti de una computadora, diversos targetes de lectura de dades i targetes d'actuadors a més de lligar-hi un software que controlés totes aquestes variables.

1.5. Normativa aplicable

La normativa aplicable per a l'autoconsum espanyol es troba recollida en el real decret 900/2015, després depenent de la modalitat d'autoconsum s'haurà d'acollir a altres reals decrets com el 1699/2014, 413/2014 i el 1955/2000 entre d'altres, tota la normativa que es aplicable a aquest projecte es troba resumida a continuació[8][9][10][11].

També es pot consultar la taula comparativa final entre les modalitats disponibles en l'apartat 1.5.2.

1.5.1. Real decret 900/2015

Aquest real decret també conegut com el de l'autoconsum entra en vigor el 20 d'octubre del 2015, en ell es troba la normativa per la que es regiran totes les instal·lacions generadores que pretenguin consumir l'energia que la seva pròpia instal·lació els genera. Per fer-ho es divideixen les instal·lacions en dos grans grups amb normatives diferenciades, la major diferencia és que en una es contemplen grans instal·lacions de fins a més de 100 kW mentre que l'altre té marcat el límit en aquest valor.

Es procedeix a analitzar la normativa per separat ja que malgrat una permet instal·lacions molt més grans que les d'aquest projecte també aporta avantatges significatius com serà el cobrament dels abocaments.

1.5.1.1. Modalitat d'autoconsum 1

Aquest tipus d'instal·lacions no estan inscrites en el registre de producció, això també significa que mai podran cobrar per l'abocament fet a la xarxa elèctrica, també dins d'aquest grup es diferencia entre instal·lacions més grans i més petites de 10 kW, en la instal·lació d'aplicació segons l'estudi de l'apartat 3.5 mai es superarà aquets 10 kW per lo que només s'analitza aquest primer grup. A més les instal·lacions d'aquesta modalitat no hauran de rebre l'autorització prèvia que pel contrari han de rebre les instal·lacions de més de 100 kW.

Malgrat no s'estigui en el registre de productors elèctrics si que s'haurà d'inscriure al registre administratiu d'autoconsum d'energia elèctrica, i com es pertany al grup de petits autoconsumidors es farà a la primera secció d'aquest.

Per altre banda les instal·lacions aïllades de la xarxa elèctrica espanyola no hauran de registrar-se, però com s'ha exposat en els objectius aquest projecte l'aïllament no en forma part.

La potència de la instal·lació haurà de ser igual o inferior a la contractada i mai superior a 100 kW, a més el titular tan de la instal·lació de consum com la producció hauran de coincidir. Per altra banda pel que fa els aspectes tècnics elèctrics hauran de seguir la normativa que es detalla en el Real Decret 1699/2014 que regula aquests per a les petites instal·lacions, a més qualsevol incompliment de la normativa permet que la companyia subministradora ens pugui tallar el subministrament.

La instal·lació de bancs de bateries està permesa sempre que el seu consum estigui mesurat per un comptador d'energia ja sigui de la generació neta o de l'energia consumida (En aquest treball es pot trobar en l'apartat 3.9 la distribució de comptadors d'energia que s'usarà en l'aplicació particular).

En quan el procediment de subscripció el titular haurà de presentar una sol·licitud detallada amb tota la informació seva i de la instal·lació, un mes després rebrà un plec de condicions tècniques per portar-la a terme i totes les modificacions necessàries en la instal·lació correran sempre a càrrec del sol·licitant, i fins que un instal·lador autoritzat no certifiqui la instal·lació aquesta no podrà procedir. En el cas d'instal·lacions inferiors a 10kW, aquesta compta amb una sol·licitud més senzilla i on la distribuïdora té 10 dies per autoritzar els tràmits, 10 més per formalitzar el contracte tècnic i realitzar les verificacions tan prèvies a la primera connexió.

Si s'opta per no fer abocament, el que es coneix com abocament 0, no s'haurà de pagar els costos del estudi previ els quals ascendeixen a uns 20 euros per cada kW.

Pel que fa la llargada del contracte de subscripció a la comercialitzadora aquest té una clàusula de permanència de un any i també cal tenir en compte que no s'haurà de pagar cap peatge addicional al que ja tenim en la part de consum.

La mesura del autoconsum es farà seguint la normativa tècnica del Real Decret 110/2007 en el qual s'estableix que hi haurà d'haver un aparell de mesura en l'interior el més a prop de la frontera, que n'hi haurà d'haver un altre en la generació on no hi podrà haver cap càrrega de consum i que el lector de companyia tindrà accés a tots els comptadors auxiliars de dins la instal·lació, a més tots hauran de tenir discriminació horària [12].

Pel que fa la retribució econòmica es seguirà l'establert en l'article número 9 de la ordre IET/2444/2014 on es determinen els peatges d'accés, en aquesta modalitat es tindrà en compte la potència, la demanda horària i inclús el terme de potència reactiva en la frontera de la instal·lació[13]. També en instal·lacions de menys de 10 kW no es cobrarà el càrrec variable i només haurem d'afrontar el càrrec fix que es troba en la següent taula pertanyent a la disposició transitòria primera:

NT	Peaje de acceso	Cargo fijo (€/kW)					
		Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4	Periodo 5	Periodo 6
BT	2.0 A ($P_c \leq 10$ kW)	8,989169					
	2.0 DHA ($P_c \leq 10$ kW)	8,989169					
	2.0 DHS ($P_c \leq 10$ kW)	8,989169					
	2.1 A ($10 < P_c \leq 15$ kW)	15,390453					
	2.1 DHA ($10 < P_c \leq 15$ kW)	15,390453					
	2.1 DHS ($10 < P_c \leq 15$ kW)	15,390453					
	3.0 A ($P_c > 15$ kW)	32,174358	6,403250	14,266872			
AT	3.1 A (1 kV a 36 kV)	36,608828	7,559262	5,081433	0,000000	0,000000	0,000000
	6.1A (1 kV a 30 kV)	22,648982	8,176720	9,919358	11,994595	14,279708	4,929022
	6.1B (30 kV a 36 kV)	16,747077	5,223211	7,757881	9,833118	12,118229	3,942819
	6.2 (36 kV a 72,5 kV)	9,451587	1,683097	4,477931	6,402663	8,074908	2,477812
	6.3 (72,5 kV a 145 kV)	9,551883	2,731715	3,994851	5,520499	6,894902	1,946805
	6.4 (Mayor o igual a 145 kV) ...	3,123313	0,000000	1,811664	3,511473	4,991205	1,007911

Taula 1.1. Taula del cost fix (Font: Real Decret 900/2015)

1.5.1.2. Modalitat d'autoconsum 2

Aquest tipus d'instal·lacions sí estan inscrites en el registre de producció, això també significa que podran cobrar per l'abocament fet a la xarxa elèctrica a més aquest tipus d'instal·lacions hauran de rebre una autorització prèvia per començar el projecte.

Com en l'altre modalitat s'hauran d'inscriure en el registre administratiu d'autoconsum i en aquest cas la potència sí que pot excedir els 100 kW, sempre i quant no es sobrepassin els kW contractats. Tot i així es seguirà sense poder tenir diversos consumidors connectats directament a la instal·lació de generació.

En aquesta modalitat sí que es podrà tenir diferents titulars per les instal·lacions de generació i consum, però d'haver-hi varies instal·lacions de producció en totes elles si que haurà de coincidir-hi.

Com aquestes instal·lacions ja compta amb notable potència s'hauran d'acollir a la normativa tècnica que es regula en el Real Decret 1955/200 i 413/2014, i com en l'anterior, d'incomplir la normativa se'ls podrà tallar el subministrament a la xarxa per la companyia subministradora.

La instal·lació de bancs de bateries esta permesa sempre que el seu consum estigui mesurat per un comptador d'energia ja sigui de la generació neta o de l'energia consumida (En aquest treball es pot trobar en l'apartat 3.9 la distribució de comptadors d'energia que s'usarà en l'aplicació particular).

Les especificacions i normativa tècnica a seguir es troben com en l'altra modalitat en el Real Decret 1699/2014 per a instal·lacions de menys de 100 kW i en el 1955/2000 per a les de més potència.

A diferència de l'anterior modalitat però s'haurà d'abonar la quantitat del estudi d'accés que ronda els 20 euros per kW. Pel que fa la llargada del contracte de subscripció a la comercialitzadora aquest té una clàusula de permanència de un any i també caldrà abonar el peatge d'accés per a productors que es calcula amb la següent formula:

El peaje de acceso que deberán satisfacer las centrales de bombeo por la energía vertida a la red y la consumida, se calculará de acuerdo a lo siguiente:

$$\text{PeajeBombeo} = \text{PeajeGeneración} \times [\text{Ept} + (\text{Eb} \times (1 - \rho))]$$

Siendo:

PeajeBombeo: peaje, expresado en €, a satisfacer por la central hidráulica de bombeo por su consumo y su producción de electricidad.

PeajeGeneración: peaje unitario en €/MWh, a satisfacer por los productores de energía eléctrica.

Ept: energía producida total vertida a la red de distribución o transporte.

Eb: energía consumida para bombeo de uso exclusivo para la producción eléctrica.

ρ : Rendimiento en tanto por uno de la instalación de bombeo, correspondiendo a un valor de 0,7.

Formula 1.1. Formula del càlcul del peatge d'autoconsum (Font: Real Decret 900/2015)

La mesura del autoconsum es farà seguint la normativa tècnica del Real Decret 110/2007 en el qual s'estableix que hi haurà d'haver un aparell de mesura en l'interior el més a prop de la frontera, que n'hi haurà d'haver un altre en la generació on no hi podrà haver cap càrrega de consum i que el lector de companyia tindrà accés a tots els comptadors auxiliars de dins la instal·lació, a més tots hauran de tenir discriminació horària. En l'apartat 3.9 d'aquest treball s'entra més en detall en la distribució de la mesura de l'energia generada, consumida i les característiques del aparellatge utilitzat.

Pel que fa la retribució econòmica es seguirà l'establert en l'article número 9 de la ordre IET/2444/2014 on es determinen els peatges d'accés, en aquesta modalitat el terme fix de potència es regira per la taula 1.1 que s'ha adjuntat anteriorment i després usarem la taula 1.2 per al terme variable [13]:

ii) A partir del 1 de enero de 2016:						
Peaje de acceso	Cargo transitorio por energía autoconsumida (€/kWh)					
	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Periodo 4	Periodo 5	Periodo 6
2.0 A ($P_c \leq 10$ kW)	0,049033					
2.0 DHA ($P_c \leq 10$ kW)	0,063141	0,008907				
2.0 DHS ($P_c \leq 10$ kW)	0,063913	0,009405	0,008767			
2.1 A ($10 < P_c \leq 15$ kW)	0,060728					
2.1 DHA ($10 < P_c \leq 15$ kW)	0,074079	0,018282				
2.1 DHS ($10 < P_c \leq 15$ kW)	0,074851	0,021301	0,014025			
3.0 A ($P_c > 15$ kW)	0,029399	0,019334	0,011155			
3.1A (1 kV a 36 kV)	0,022656	0,015100	0,014197			
6.1A (1 kV a 30 kV)	0,018849	0,016196	0,011534	0,012518	0,013267	0,008879
6.1B (30 kV a 36 kV)	0,018849	0,013890	0,010981	0,011905	0,012871	0,008627
6.2 (36 kV a 72,5 kV)	0,020138	0,016194	0,011691	0,011696	0,011996	0,008395
6.3 (72,5 kV a 145 kV)	0,022498	0,017414	0,012319	0,011824	0,011953	0,008426
6.4 (Mayor o igual a 145 kV)	0,018849	0,013138	0,010981	0,011104	0,011537	0,008252

Taula 1.2. Taula cost variable (Font: Real Decret 900/2015)



1.5.2. Resum de les diferències en costos i condicions depenent de la modalitat i elecció

Modalitat 1 (<10kW)	Modalitat 2
No podran cobrar els abocaments	Podran cobrar els abocaments
No hauran de pagar l'estudi previ	Hauran de pagar l'estudi previ (20€/kW)
S'haurà d'abonar el cost fix (8,989169€/kW)	
No s'haurà d'abonar el cost variable	S'haurà d'abonar el cost variable (0,049033€/kWh)
Retribució al operador de mercat (0,000025€/kWh)	
Retribució al operador del sistema (0,000109€/kWh)	
Servei de interrompibilitat (0,001951€/kWh)	
Servei d'ajust (0,005400€/kWh)	
Peatge pel finançament per capacitat (0,008181€/kWh)	

Taula 1.3. Taula resum de les modalitats estudiades. (Font: Generació pròpia)

2. Disseny del sistema de gestió d'energia (HEMS)

2.1. Introducció

El sistema de gestió d'energia o EMS *Energy managment System*, que s'ha introduït en l'apartat 1.4.2, és el gestor que regula els fluxos de potència de tots els blocs del nostre sistema a partir de la informació que rep dels sensors físics repartits en cada un d'ells. Aquesta tecnologia serà aplicada en un entorn domèstic *home* d'aquí les seves sigles HEMS.

Aquest decidirà si el bloc fotovoltaic, les bateries, la xarxa i les carregues de la casa estan rebent o abocant energia.

Pel que fa la plataforma física ja s'ha comentat les opcions més comuns en la presentació de la tecnologia i en cada aplicació particular es podria optar per una tecnologia o una altra, en el projecte d'aplicació d'aquest treball podeu trobar l'elecció en l'apartat 3.11.

Per fer aquesta raonament lògic l'EMS aproxima la decisió en tres nivells:

- Estratègic
- Tàctic
- Operacional

2.1.1. Nivell estratègic

Seria el nivell superior als tres i es limitarà a estimar costos de cada una de les opcions i valorant la disponibilitat de cada recurs.

2.1.2. Nivell tàctic

Aquest nivell està just per sota l'anterior i ja decideix quins tipus d'objectius es volen aplicar amb aquest sistema de gestió, en el cas d'aplicació seria: Reducció de la factura energètica mitjançant el sistema fotovoltaic, reducció dels pics de màxim consum (*peak-shaving*), garantia de les carregues crítiques en falla de la xarxa convencional, eficiència màxima de l'energia en l'habitatge i compliment de la normativa aplicable.

2.1.3. Nivell Operacional

Aquest es ja el nivell inferior i tracta directament amb tots els aparells de control de cada bloc per tal de complir les directrius dels nivells superiors.

2.2. Tasques del EMS

- Gestió de la injecció o consum de la xarxa convencional
- Control del sistema de bateries recordant les premisses establertes en el nivell tàctic de la gestió
- Controlar les intensitats de càrrega i descàrrega de les bateries perquè complexin les establertes pel fabricant
- Regulació del banc de panells fotovoltaics perquè produeixin a potències òptimes i gestionar la seva producció
- Regular l'energia per a les carregues crítiques en cas de desconexió
- Tasques de *peak-shaving* per tal d'ajudar a la reducció de la factura de la instal·lació aplicada

2.3. Fluxos de potència

Els elements de la xarxa híbrida són els següents: Xarxa convencional, carregues, bateries i fotovoltaica. També es podria incloure un grup electrogen el qual tindria els mateixos fluxos que la generació fotovoltaica, en aquest projecte no s'inclourà.

La taula de possibles fluxos de càrrega que podria tenir cada bloc ajuda a comprendre la implicació de cada element de la xarxa, en aquesta un "-" voldria dir una càrrega que esta obtenint energia del sistema mentre que un "+" seria una que esta abocant potència al conjunt.

Bloc	Fluxos		
Xarxa convencional	+	0	-
Carregues		0	-
Bateries	+	0	-
Fotovoltaica	+	0	

Taula 2.1. Taula de fluxos de potència. (Font: Generació pròpia)

En el model generalista de xarxa híbrida que es generarà en els primers apartats del treball contempla abocament a la xarxa, aquesta opció ja veurem si es respecta a l'aplicació final.

Les característiques de cada element són les següents:

- Xarxa convencional:

Té caràcter bidireccional o nul, pel que pot estar aportant o absorbint energia del sistema o en el cas nul no fer cap de les dues coses.

- Carregues

Les carregues només poden prendre valors negatius i subministrar l'energia que necessiten és una prioritat.

- Banc de bateries

Les bateries són el segon element bidireccional i tan poden absorbir per carregar els seus nivells d'energia o subministrar-ne en tasques de *peak-shaving* com en cas de desconexió.

- Instal·lació fotovoltaica:

Aquesta només pot prendre valors positius és a dir que atorga energia al sistema a partir d'energia solar.

2.4. Estats dels elements de la xarxa i diagrama d'estats

Per tal d'atorgar intel·ligència al HEMS és important que conegui quines són totes les accions que pot prendre, per fer-ho s'exposen tots els escenaris possibles que pot prendre la microxarxa.

Com s'ha exposat anteriorment els elements que formen el nostre sistema són els següents, també s'identificaran amb unes sigles per tal de poder treballar cada un com una variable:

- Xarxa convencional (X)
- Carregues elèctriques (C)
- Banc de bateries (B)
- Instal·lació fotovoltaica (F)

Inicialment es mostren totes les combinacions matemàtiques possibles sense tenir en compte si físicament aquestes serien possible, posteriorment es restaran les que no ho siguin per obtenir els escenaris possibles reals.

	X	C	B	F	
1	\bar{X}	\bar{C}	\bar{B}	\bar{F}	N
2	\bar{X}	\bar{C}	\bar{B}	F	N
3	\bar{X}	\bar{C}	B	\bar{F}	N
4	\bar{X}	C	\bar{B}	\bar{F}	N
5	X	\bar{C}	\bar{B}	\bar{F}	N
6	\bar{X}	\bar{C}	B	F	S
7	\bar{X}	C	B	\bar{F}	S
8	X	C	\bar{B}	\bar{F}	S
9	X	\bar{C}	\bar{B}	F	S
10	X	\bar{C}	B	\bar{F}	S
11	\bar{X}	C	\bar{B}	F	S
12	\bar{X}	C	B	F	S
13	X	C	B	\bar{F}	S
14	X	\bar{C}	B	F	S
15	X	C	\bar{B}	F	S
16	X	C	B	F	S

Taula 2.2. Taula dels estats possibles (Font: Generació pròpia)

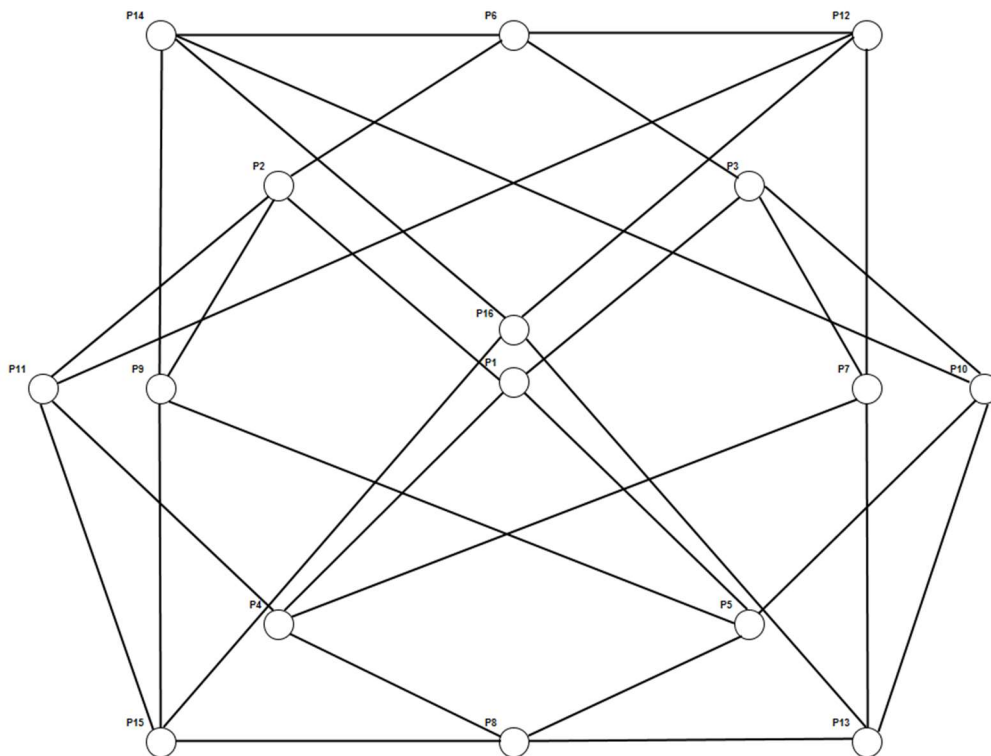


Figura 2.1. Diagrama d'estat de totes les connexions (Font: Generació pròpia)

Aquestes serien les combinacions matemàtiques d'estats directes, però n'hi ha algunes que físicament no són possibles.

Les raons de les eliminacions dels casos són les següents:

- #0: Aquesta configuració no té sentit com a estat.
- #2 : La xarxa fotovoltaica ha d'avocar l'energia a algun lloc, per tan al no haver cap element amb capacitat d'absorció d'energia aquest cas es físicament impossible.
- #3: La bateria ha d'aportar o absorbir energia, al no haver cap altre element que li permetre fer-ho també queda descartat aquest escenari.
- #4: Les carregues necessiten energia per funcionar, tècnicament podrien estar connectades sense funcionar però es descarta el cas.
- #5: La xarxa aporta energia al sistema, al no tenir cap element que la pugui assolir es descarta el cas.

Per tal de fer els diagrames d'estats d'aquestes configuracions més fàcilment es mostra en la següent taula les associacions directes de tots els casos.

C6	C12	C14		
C7	C12	C13		
C8	C13	C15		
C9	C14	C15		
C10	C13	C14		
C11	C12	C15		
C12	C6	C7	C11	C16
C13	C7	C8	C10	C16
C14	C6	C9	C10	C16
C15	C8	C9	C11	C16
C16	C12	C13	C14	C15

Taula 2.3. Taula d'associacions directes d'estats possibles (Font: Generació pròpia)

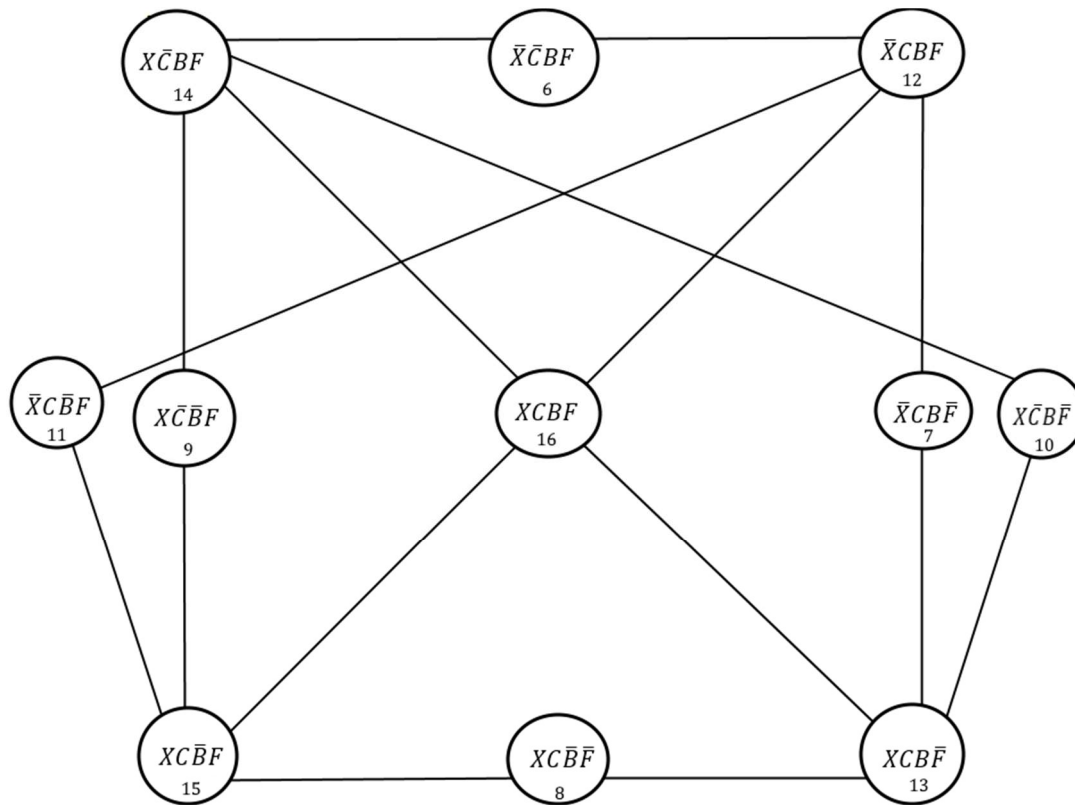


Figura 2.2. Diagrama d'estat de totes les configuracions possibles (Font: Generació pròpia)

Els moviments d'un estat a un altre han de ser presos per la pròpia microxarxa intel·ligent a partir de les dades que té disponibles a partir de sensors i variables, un cop canviï la configuració també canviaran els fluxos de potència per tal de complir les seves tasques com a gestor intel·ligent d'energia.

Com a exemple s'exposa una part d'aquest diagrama d'estats ampliat amb quatre canvis d'estat possibles per tal de poder veure per quins motius el HEMS decidiria canviar de un al altre.

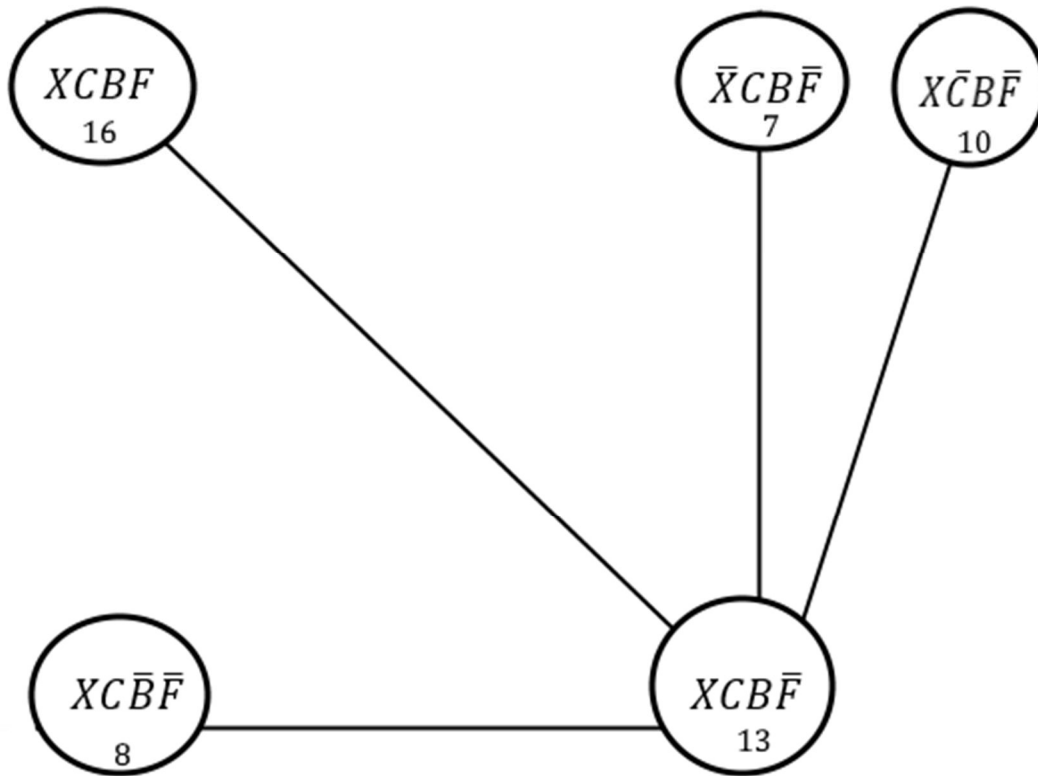


Figura 2.3. Ampliació del diagrama d'estats per als casos 7, 8, 10, 13 i 16 (Font: Generació pròpia)

L'estat inicial que es proposa es el 13 on esta connectat la xarxa convencional, les carregues elèctriques i el banc de bateries, seria un clar exemple de *peak-shaving*, a continuació s'exposa que hauria de passar a la microxarxa per a que aquesta configuració canviés:

- $C13(XCB^-) \rightarrow C7(\bar{X}CB\bar{F})$: Les bateries estan gairebé plenes (dins el marge acceptat) i la potència demandada per les carregues canvia a ser suficientment baixa com per no necessitar la xarxa.
- $C13(XCB^-) \rightarrow C8(XC\bar{B}\bar{F})$: Les bateries han arribat al límit inferior en el que es considerarien plenes (a partir d'aquí només s'usaran per tasques de *peak-shaving* i en falla de la xarxa convencional) i en aquest moment no es requereixen tasques de *peak-shaving*.
- $C13(XCB\bar{F}) \rightarrow C10(X\bar{C}B\bar{F})$: Les bateries estan gairebé plenes (dins el marge acceptat) i la potència demandada per les carregues arriba a ser nul·la, el sistema aboca energia a la xarxa convencional fins el límit inferior en el que les bateries es consideren plenes.

- $C13(XCB\bar{F}) \rightarrow C16(XCBF)$: La generació fotovoltaica arriba a ser suficient com per connectar el mòdul.

2.5. Diagrames de flux de potència dels blocs de la microxarxa i funcionalitat

La finalitat d'elaborar un diagrama d'estats és poder entendre les transicions entre els estats de manera més fàcil, un cop ja esta elaborat en la figura 2.2 es procedeix a elaborar el diagrama de flux de la funcionalitat dels tres elements en els que es té control:

2.5.1. Xarxa convencional:

La xarxa convencional tindrà tres estats, dos aportant energia a la microxarxa i un rebent energia.

- Abocament a xarxa

En el moment que hi hagi un excedent d'energia generada per la instal·lació fotovoltaica en subministrar potència a les carregues i carregar les bateries, aquest excedent s'injectarà a la xarxa convencional i aquesta energia serà de caràcter remunerat.

- Subministrament d'energia a la microxarxa

La xarxa convencional aportarà energia a la microxarxa per tal d'abastir la potència sol·licitada per les carregues de la instal·lació, aquesta només anirà a les carregues i mai a les bateries.

- Peak-shaving

La ultima tasca de la xarxa convencional serà també igual que la de subministrament de les carregues elèctriques però en aquest cas rebrà ajuda per part del banc de bateries en superar-se certa potència demandada, aquesta funció ajuda a reduir la potència contractada per l'habitatge en qüestió. El mateix sistema haurà de tenir en compte si el nivell de la bateria li permetrà fer aquesta tasca a més de si la podrà fer durant temps suficient .

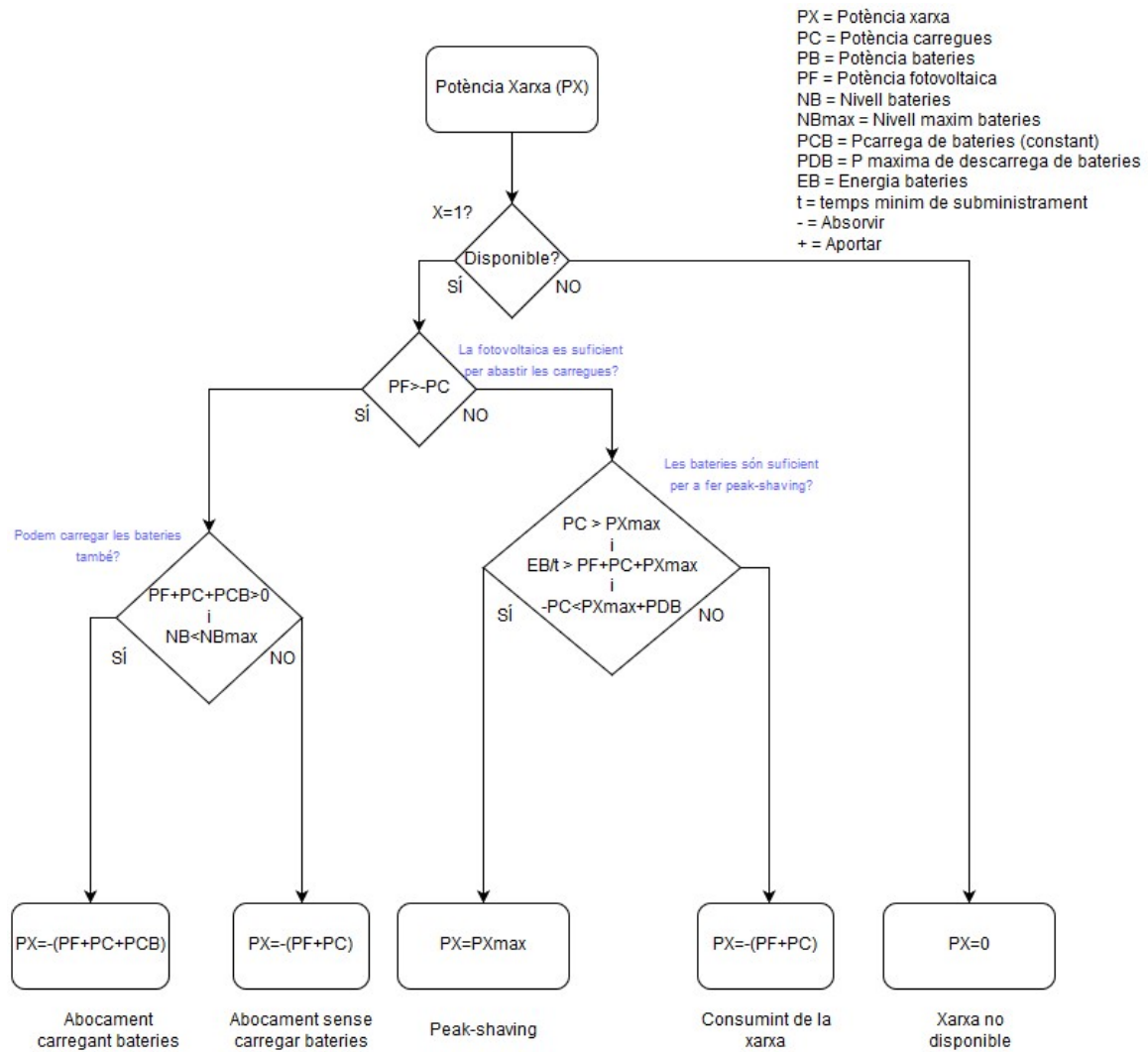


Figura 2.4. Diagrama de flux de la funcionalitat de la xarxa convencional (Font: Generació pròpia)

2.5.2. Instal·lació fotovoltaica

La instal·lació fotovoltaica pot prendre dos estats només, produir o no produir, aquests es poden prendre degut a diferents motius que el gestor d'energia ha d'avaluar.

- Produint energia

La instal·lació fotovoltaica produirà energia sempre que la xarxa estigui disponible, ja que si hi hagués un excés s'abocaria a ella, si no és així es comprovarà si les bateries estan plenes i si hi ha carregues que subministrar. Dins de produir energia s'hi aplicaran diferents nivells ja que si les bateries estiguessin plenes i no hi hagués xarxa disponibles es produiria només la energia que necessitessin les carregues. Si pel contrari no hi haguessin carregues però les bateries estiguessin descarregades la potència a subministrar seria la nominal de càrrega de bateries.

- No produint energia

Això succeirà quan la xarxa no estigui disponible, les bateries estiguin plenes i no hi hagi carregues a abastir. I també quan la radiació que rebí la instal·lació no sigui suficient a la mínima per produir que es considerarà que la instal·lació fotovoltaica no està disponible.

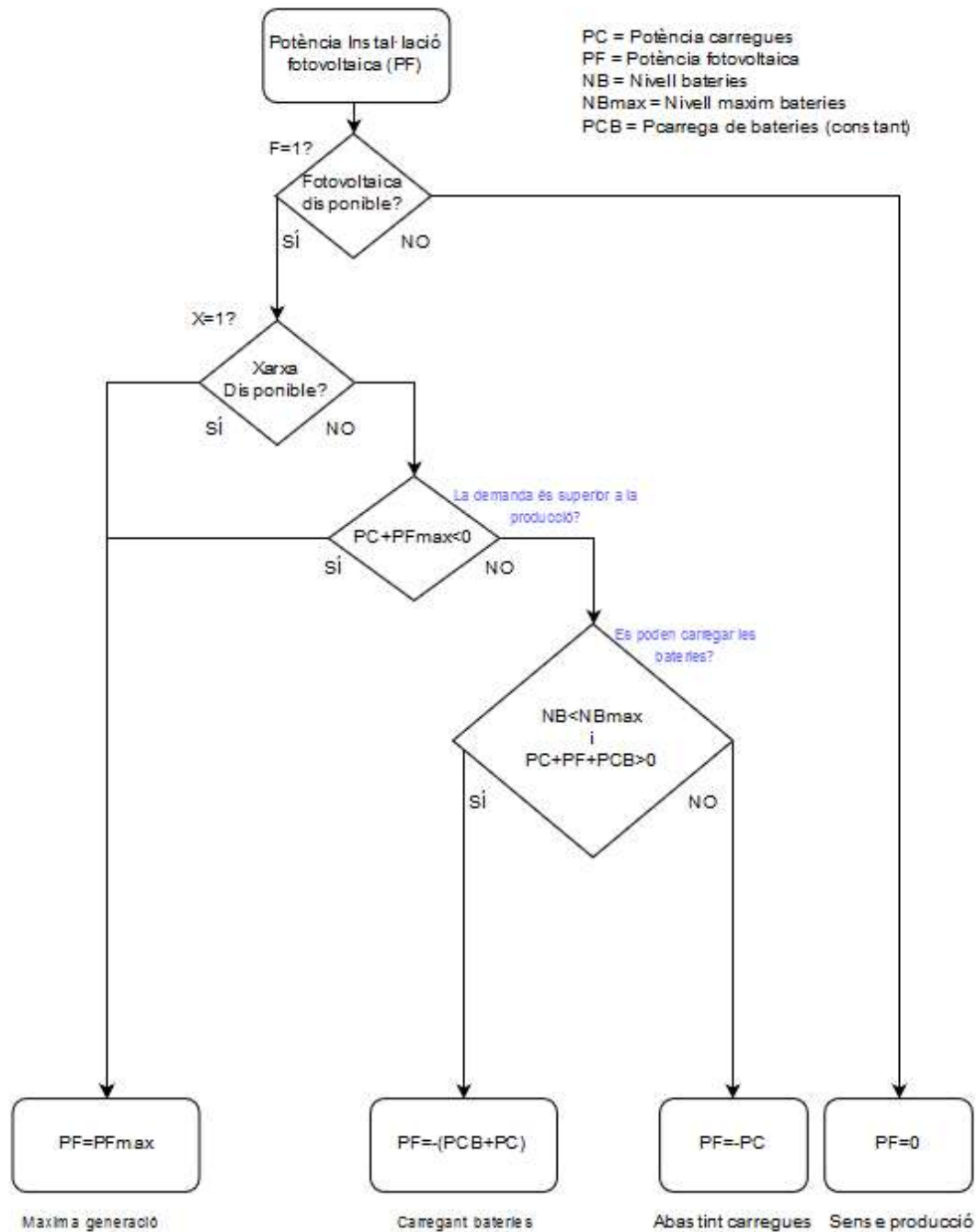


Figura 2.5. Diagrama de flux de la funcionalitat de la instal·lació fotovoltaica (Font: Generació pròpia)

2.5.3. Banc de bateries

Les bateries tindran tres estats diferents en la microxarxa a més també es decideix que aquestes mai es carregaran amb energia de la xarxa convencional, per tant només ho faran amb l'excident d'energia de la instal·lació fotovoltaica. El dimensionament del banc s'haurà de fer en cada aplicació particular a partir de la potència màxima a subministrar, el consum d'energia de la instal·lació i els dies desitjats a suplir la xarxa en cas de desconnexió.

- Absorbint l'excident d'energia generada per la instal·lació fotovoltaica

Quan el nivell de càrrega de les bateries sigui inferior al màxim, el balanç d'energia després de suplir les carregues de la instal·lació segueixi sent positiu i la potència restant disponible per a la càrrega sigui superior o igual a la potència nominal de càrrega.

- Injectant la diferencia de potència que la xarxa no pot subministrar per a abastir les carregues

Aquest cas compleix dos escenaris, ja sigui quan la xarxa convencional no esta disponible, és a dir la potència restant per a cobrir el subministrament de les carregues sigui la totalitat d'aquesta. I quan la potència màxima acordada per subministrar de la xarxa es vegi superada per la demanda, aquesta diferencia l'assumiran les bateries en la funció que anomenem *peak-shaving*. S'ha de tenir en compte que això serà sempre així quan les bateries tinguin prou energia per abastir aquestes demandes a més a més de poder-ho fer durant prou temps ja que les connexions i desconnexions constants en baixa càrrega són contraindicades.

- Estat de balanç nul

Això succeirà quan les bateries estiguin plenes i no hi hagi demanda per a elles i també quan les bateries estiguin completament descarregades i no disposem d'excés d'energia per carregar-les.

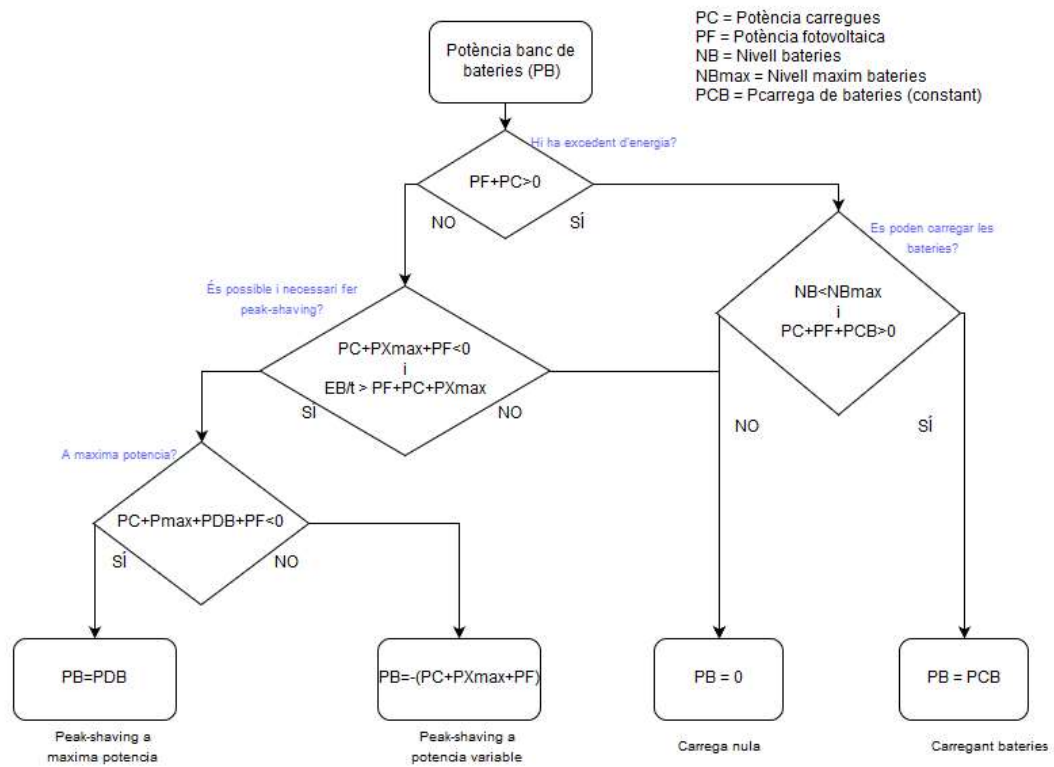


Figura 2.6. Diagrama de flux de la funcionalitat del banc de bateries (Font: Generació pròpia)

2.6. Modelització del pseudocodi del EMS

La programació del EMS es farà en forma d'algorisme per a donar intel·ligència a aquest sistema de gestió.

En dissenyar qualsevol software és important la seva versatilitat i més en un sistema que es podria aplicar a diferents microxarxes diferents, per això aquest a de ser genèric i que es pugi acotar després variant els valors de variables i constants que hi apareixen per cada aplicació particular.

Aquets programa hauran de fer que l'HEMS respongui de la manera que s'explica en el diagrama de flux de l'apartat anterior.

2.6.1. Glossari de les variables

La potència de cada element es representarà amb P seguit de la lletra amb que identifiquem l'element, per exemple PF es la potència de la instal·lació fotovoltaica. Cada element també s'identificarà si esta disponible atorgant a la variable amb la que identifiquem el bloc donant-li valors 0 si no esta disponible i si ho està, com a exemple si X té valor 1 la xarxa convencional estarà disponible.

- X → Disponibilitat de la xarxa convencional (Variable de valor 0 o 1)
- F → Disponibilitat de la instal·lació fotovoltaica (Variable de valor 0 o 1)
- B → Disponibilitat del banc de bateries (Variable de valor 0 o 1)
- PX → Potència de la xarxa convencional (Variable negativa o positiva)
- PXmax → Potència màxima de la xarxa convencional (Constant a fixar per al peak-shaving)
- PC → Potència a subministrar a les carregues (Variable sempre negativa)
- PF → Potència de la instal·lació fotovoltaica (Variable sempre positiva)
- PFmax → Potència màxima que pot aportar en un moment determinat la instal·lació fotovoltaica (Variable sempre positiva)
- PCB → Potència de càrrega del banc de bateries (Constant negativa)
- PDB → Potència màxima de descàrrega del banc de bateries (Variable sempre positiva)
- EB → Energia disponible en el banc de bateries (Variable que només calcula l'energia utilitzable en el banc de bateries respectant els mínims fixat pel fabricant)
- t → Constant fixada (s'utilitza per decidir si el banc de bateries pot fer peak-shaving durant prou temps)
- NB → Nivell de càrrega (Variable en tan per cent)
- NBmax → Constant de càrrega màxima (Normalment 100%)

2.6.2. Pseudocodi de la xarxa elèctrica

```
1 If (X=0)
2   PX=0
3 Else
4   If (PF>=-PC) and (PF+PC+PCB>=0) and (NB<NBmax)
5     PX=- (PF+PC+PCB)
6   Else
7     PX=- (PF+PC)
8   If (PF<-PC) and (-PC>PXmax) and ((EB/t)>PF+PC+PXmax) and (-PC<PXmax+PDB)
9     PX=PXmax
10  Else
11    PX=- (PF+PC)
```

Figura 2.7. Pseudocodi de la xarxa elèctrica. (Font: Generació pròpia)

2.6.3. Pseudocodi de la instal·lació fotovoltaica

```
1 If (F=0)
2   PF=0
3 Else
4   If (X=1)
5     PF=PFmax
6   Else
7     If (PC+PFmax<0)
8       PF=PFmax
9     Else
10      If (NB<NBmax) and (PC+PF+PCB>0)
11        PF=- (PCB+PC)
12      Else
13        PF=-PC
```

Figura 2.8. Pseudocodi de la instal·lació fotovoltaica. (Font: Generació pròpia)

2.6.4. Pseudocodi del banc de bateries

```

1  If (PF+PC>0)
2      If (NB<NBmax) and (PC+PF+PCB>0)
3          PB=PCB
4      Else
5          PB=0
6  Else
7      If (PC+PXmax+PF<0) and (EB/t>PF+PC+PXmax)
8          If (PC+Pmax+PDB+PF<0)
9              PB=PDB
10         Else
11             PB=-(PC+PXmax+PF)
12     Else
13         PB=0

```

Figura 2.9. Pseudocodi del banc de bateries. (Font: Generació pròpia)

2.7. Aplicació del HEMS a una vivenda concreta

2.7.1. Passos de la implementació

Seguint el dogma de la ISO 50001 és important fixar un pla d'aplicació al projecte el qual es realimenta per la constant millora del rendiment d'aquesta implementació.

- Procés previ: Auditoria de l'estat actual de l'habitatge unifamiliar
 - Estudi previ de la instal·lació en l'estat actual
 - Estudi del perfil de consum de la instal·lació
 - Estudi de l'entorn per a la implantació de renovables
- Recull d'informació de les tecnologies estalviadores aplicables a la instal·lació existent
- Recull d'informació de les tecnologies disponibles per a cada explotació renovable
- Documentació sobre la normativa energètica vigent
- Estudi de l'aplicació d'aquestes tecnologies a l'habitatge en qüestió
- Dimensionament per blocs de les tecnologies a implementar
- Adaptació del programa del HEMS per als blocs de la instal·lació particular
- Estudi de la viabilitat de les mesures a implementar
- Implementació de les mesures estudiades viables
- Optimització dels paràmetres dels elements instal·lats
- Avaluació del resultat de les mesures preses
- Re-avaluació posterior per a la continua millora de la instal·lació

2.7.2. Diagrama de flux de la implementació

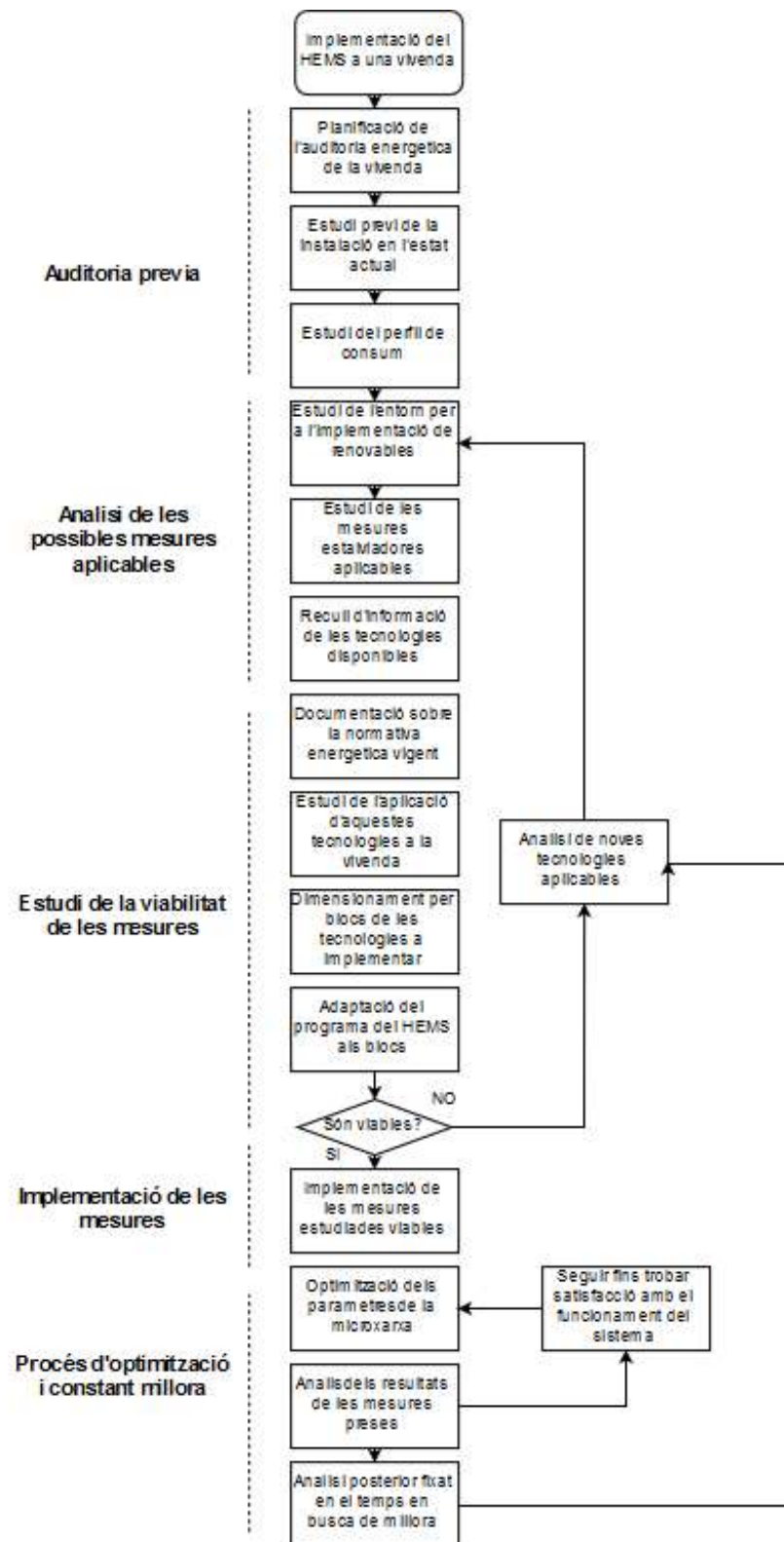


Figura 2.10. Diagrama de flux de l'aplicació en un cas particular. (Font: Generació pròpia)

3. Projecte d'aplicació a l'habitatge unifamiliar

En aquest apartat s'estableixen les aplicacions físiques concretes que es faran a l'habitatge.

Aquestes aplicacions s'han basat en una vivenda real tenint en compte les limitacions d'aquesta i s'ha maximitzat l'eficiència que se'n podria treure en l'espai disponible tot seguint les pautes d'aplicació de la ISO 50001.

3.1. Emplaçament

En aquest apartat es presenta la ubicació de l'habitatge on s'aplica el projecte al igual que la distribució de les plantes d'aquesta, després en cada bloc es mostrarà la ubicació real d'aquets en els plànols i les dimensions que ocuparan.

L'habitatge es troba al municipi de Sant Sadurní d'Anoia i es tracta d'una vivenda de dues plantes i amb un total de 372 m² habitables, aquesta es troba a les afores del poble sense impediments arquitectònics per a la recollida de la radiació solar.

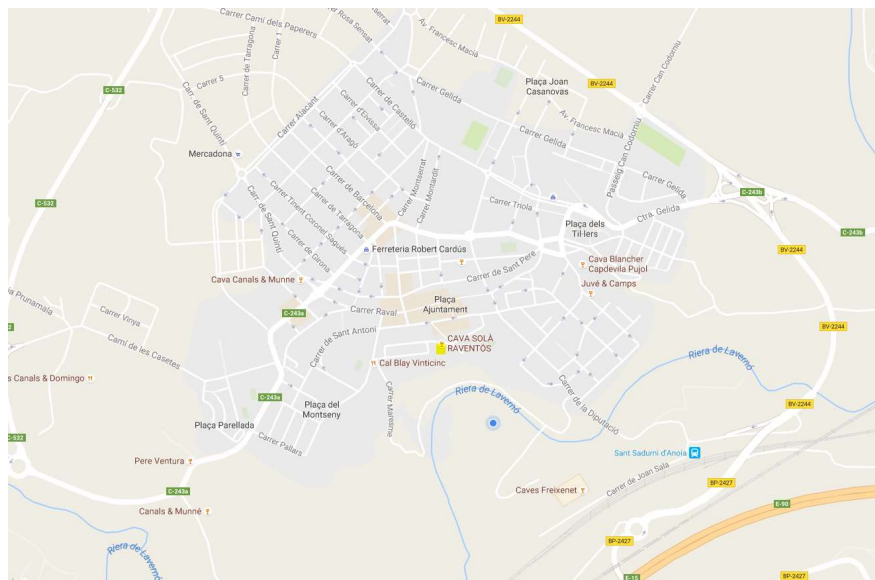


Figura 3.1. Localització de l'habitatge en un mapa de Sant Sadurní d'Anoia. (Font: Google Maps)

Pel que fa la primera planta de l'habitatge té dues terrasses força amples i la major part de les habitacions de la casa. El planell acotat detalladament amb les distàncies exactes de la primera planta és en els annexos d'aquest treball i es troba en l'Annex A.

En la segona planta hi ha menys àrea total però sí que conta d'espai desaprofitat on es podria ubicar tant el sistema HEMS com el banc de bateries per l'emmagatzemament, a més també hi ha espai no aprofitable com és la teulada de la sala d'estar de la primera planta que es podria utilitzar per a la captació solar convenientment orientada cap al sud lleugerament al sud-est. Per altra banda tota la superfície central és coberta per una teulada dividida en dues pendents al centre cada una orientada a nord-oest i sud-est, aquesta també es força interessant per la a generació fotovoltaica. El planell acotat detalladament amb les distàncies exactes de la segona planta és en els annexos d'aquest treball i es troba en l'Annex A.

3.2. Situació inicial

La situació inicial de la instal·lació elèctrica es força senzilla i de les més comuns a nivell nacional a nivell de blocs, esta formada per un conjunt de carregues connectades a la xarxa elèctrica sense generació o gestió de cap mena. No gaudeix dels beneficis de gestió eficient, generació pròpia, temps de desconexió en cas de falla de la xarxa convencional entre d'altres.

A part de no tenir cap gestió intel·ligent tampoc gaudeix de doble direccionalitat energètica, aquesta sempre es abocada a la nostra instal·lació i mai se'n retorna.

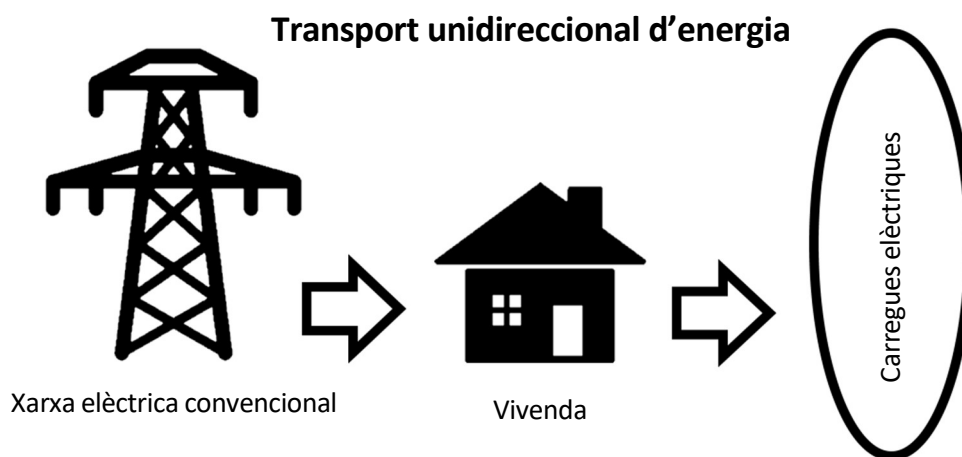


Figura 3.2. Concepte inicial de la instal·lació. (Font: Generació pròpia)

La casa és molt eficient a nivell de carregues, tots els electrodomèstics tenen bones valoracions d'eficiències a més d'un cent per cent d'il·luminació amb tecnologia LED.

La potència contractada es de 5,75 kW actualment i els consum mig mensual és de 600 kWh que per una casa d'aquestes dimensions i la quantitat de carregues és un consum ja molt baix de base, a part de reduir el consum d'energia com ja es reflexa en els objectius del projecte també es vol

reduir aquesta potència contractada ja que comporta entorn del 30% de la factura en forma de cost fix.

3.3. Introducció dels blocs

En els següents apartats del treball s'exposen els blocs en els que distribuïrem l'aplicació del projecte i dins de cada un trobarem els càlculs i anàlisis d'aquests per tal de que en el moment en que es procedeixi a l'explicació del disseny del HEMS es pugi comprendre perfectament a que ens referim amb cada variable i el seu abast.

Aquest blocs són els següents:

- Carregues elèctriques
- Generació fotovoltaica
- Banc de bateries
- Xarxa elèctrica
- Equips de mesura i comptadors

Normalment en una microxarxa consisteix d'un bloc addicional, el de generació d'emergència com seria un generador dièsel o d'un altre combustible fòssil, aquest no es contempla en aquest projecte ja que l'habitatge estarà sempre connectat a la xarxa convencional a més de no ser un gran element en factor d'eficiència i combat del canvi climàtic.

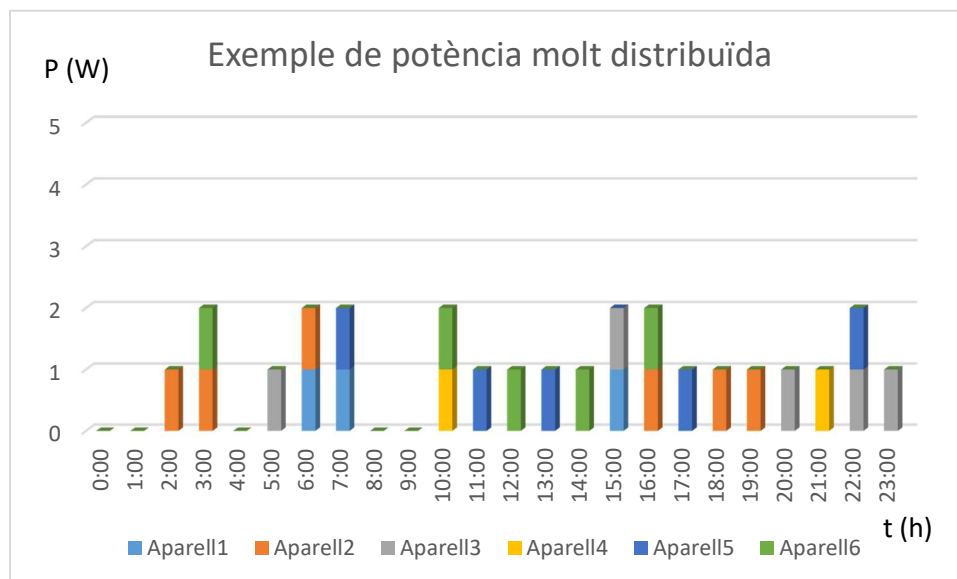
També com s'ha exposat en l'abast del treball es faran els càlculs principals de les aplicacions pertinents en cada bloc però no s'aprofundirà fins a nivell unifilar, ja que la idea es dimensionar aquets blocs però el projecte en si no és la seva aplicació sinó la creació d'un sistema de gestió energètica HEMS que els controli.

3.4. Carregues i perfils de carregues

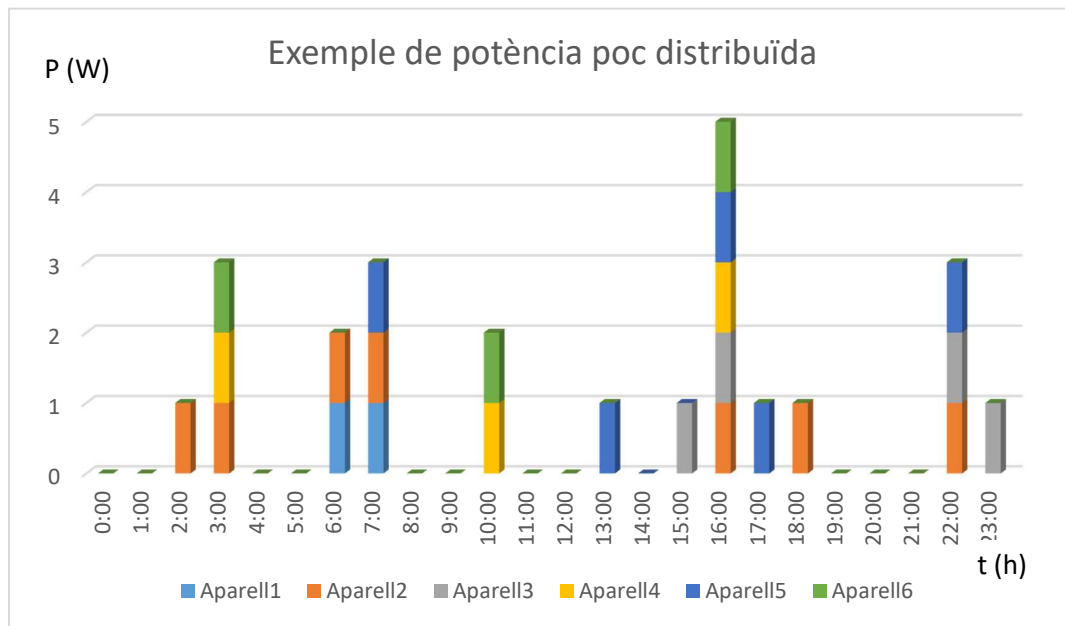
En aquest apartat s'analitzarà les carregues principals i els seus, la majoria de carregues ja són molt eficients de per si a més de gaudir d'il·luminació LED a la majoria de l'habitatge.

Tot i que es podria fer un treball sencer només de les corbes de consum dels aparells elèctrics més comuns en una vivenda, en el següent apartat es procedeix a analitzar les dels aparells principals en els moments que es produeixen pics de potència i ja no particularment a cada aparell com ja en l'habitatge en qüestió.

Això ens ajudarà a poder dimensionar el *peak-shaving* que volem incorporar amb el sistema HEMS com també el dimensionament del banc de bateries que incorporarem, això es fàcil d'entendre amb un exemple. Es podrien tenir 5 aparells de potència nominal 1kW que mai es connectessin alhora pel que la potència màxima a subministrar durant tot el dia seria aquest 1kW i s'estalviarien molts diners en bateries i potència, mentre que si aquets aparells es connectessin de manera aleatòria i tots a la vegada podria haver-hi cops en que tindríem fins a 5kW a subministrar tot i tenint les mateixes carregues. En la següent gràfica es pot veure un exemple fictici d'aquest concepte.



Gràfica 3.1. Exemple de gràfica amb potència molt distribuïda. (Font: Generació pròpia)



Gràfica 3.2. Exemple de gràfica amb potència poc distribuïda. (Font: Generació pròpia)

És per això que és molt important agafar el perfil particular de l'habitatge en qüestió alhora de dimensionar els equips si es vol que la inversió sigui el més rentable i eficient possible.

3.4.1. Anàlisi de les carregues existents

Per fer la presa de dades de les carregues es va utilitzar tant el hardware com el software de l'empresa MIRUBEE en la seva versió més senzilla MIRUBEE BOX, la qual va cedir la universitat per a poder fer les medicions de la xarxa elèctrica de l'habitatge. Aquest aparell mesura la intensitat en dos punts (mitjançant pinces amperimètriques) i la tensió per tal d'obtenir la potència instantània en dos punts de la instal·lació.

El *set-up* que es va utilitzar va ser el d'una pinça llegint tot el corrent del habitatge i una altre llegint el corrent dels electrodomèstics de la cuina (rentaplats, forn, vitroceràmica..) per tal de poder discriminar amb més facilitat els perfils de càrrega entre ells.

Per últim la freqüència de presa de dades va estar fixada a un minut pel que la anàlisi instantani d'aquestes carregues queda descartat i també dir que aquest es va fer 24 hores al dia durant el període del 07 al 30 d'octubre de 2016.



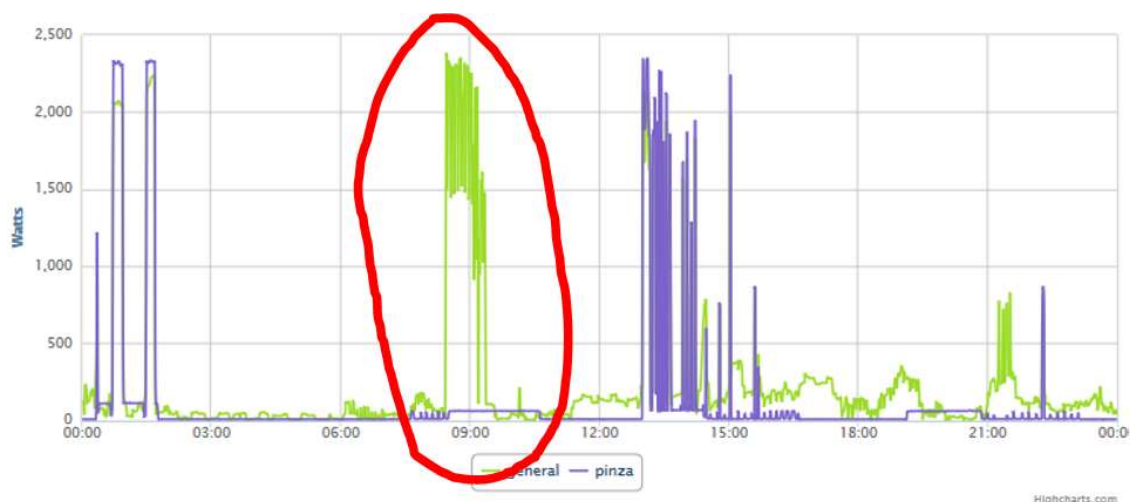
Figura 3.3. Miru Box MIRUBEE. (Font: MIRUBEE)

3.4.2. Perfils de carregues particulars

Les carregues a analitzar són les dels principals electrodomèstics que podem trobar a una llar: Assecadora, rentaplats, vitroceràmica, rentadora, planxa, microones i forn.

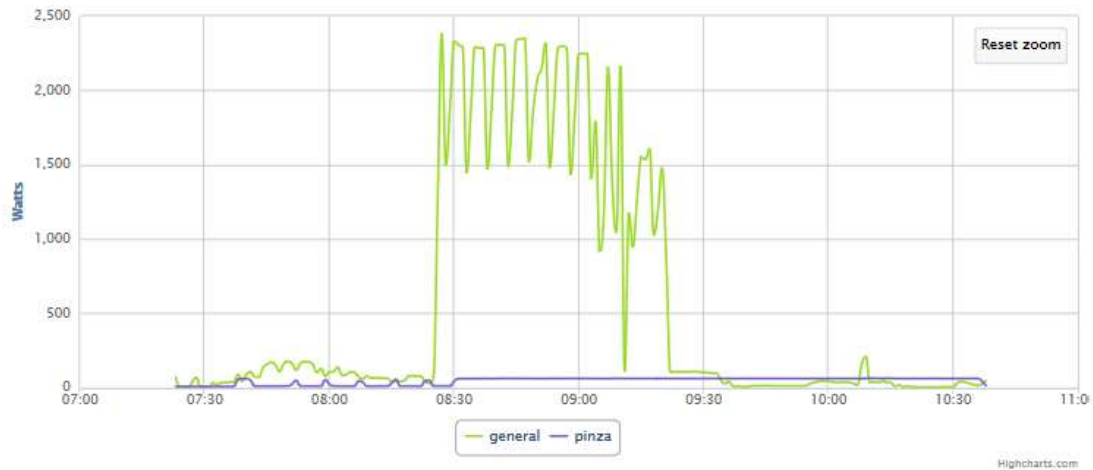
- Assecadora

La assecadora té un horari d'execució no fixat, encara que la majoria de dies és a partir de les 7 en horari de matí, això es perquè la rentadora es posa la nit anterior i es traspasa la roba de una maquina a l'altre. Per tant es determina que la assecadora i la rentadora mai actuaran en simultaneïtat en la majoria de dies, en el següent gràfic es pot apreciar que aquesta es posa en funcionament poc abans de les 9 del matí com ja s'ha indicat.



Gràfica 3.3. Gràfica de potència elèctrica amb la corba de la assecadora assenyalada. (Font: MIRUBEE)

Si s'amplia la gràfica es pot apreciar el comportament de la assecadora en més detall, aquesta té un pic de potència de uns 2300 W en que malgrat el màxim es manté a aquest valor procedeix a fer un cicle de oscil·lacions periòdiques cada aproximadament 5 minuts on durant 1 minut baixa la potència a 1500 W, aquest es repeteix durant el 60% de la duració total del programa d'assecat que és de 1 hora.

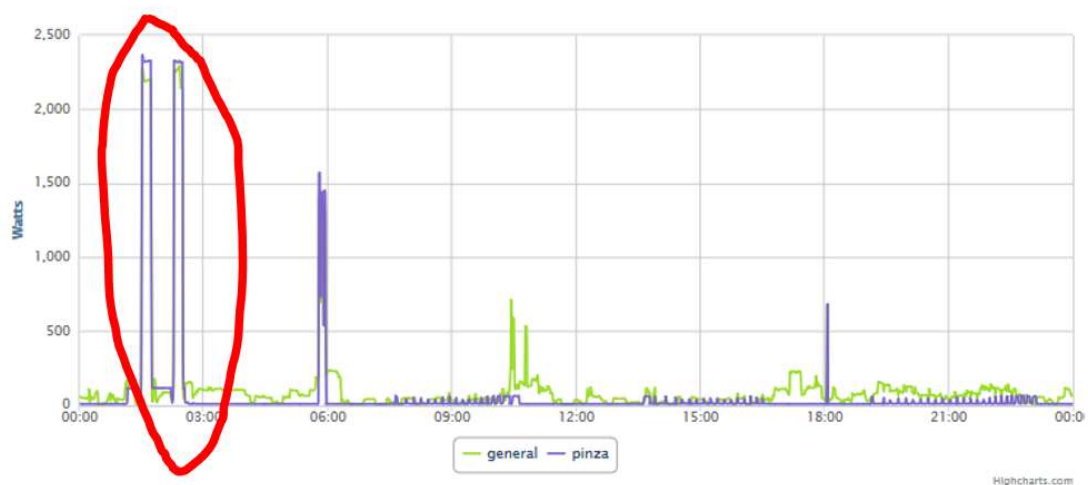


Gràfica 3.4. Gràfica ampliada de la potència elèctrica de la assecadora. (Font: MIRUBEE)

La següent part del programa té oscil·lacions molt més variades en que es difícil establir un patró de funcionament, simplement es sensible que progressivament va baixant la potència durant els últims 20 minuts fins a arribar a finalitzar.

- Rentaplats

El rentaplats sí que té un horari molt constant i sempre es posa al voltant de les dues de la matinada i dura aproximadament una hora fins les tres, a diferencia de la assecadora i la rentadora el rentaplats es posa a diari mentre que els altres dos electrodomèstics hi ha ocasions en que s'estan un parell de dies sense utilitzar-se per tal de posar-los en plena càrrega.



Gràfica 3.5. Gràfica de potència elèctrica amb la corba del rentaplats assenyalada. (Font: MIRUBEE)

El cicle de funcionament del rentaplats té un anàlisi força senzill, primerament té un màxim de 2000 W que dura aproximadament 20 minuts en el que s'escalfa l'aigua, s'inunda el tanc i es procedeix a fer el rentat inicial.

Seguidament el procedeix una pausa d'activitat de 30 minuts en que es deixa la vaixella en remull per poder maximitzar l'efecte desgasant del detergent i la mateixa aigua calenta en que el consum de l'aparell és pràcticament nul.

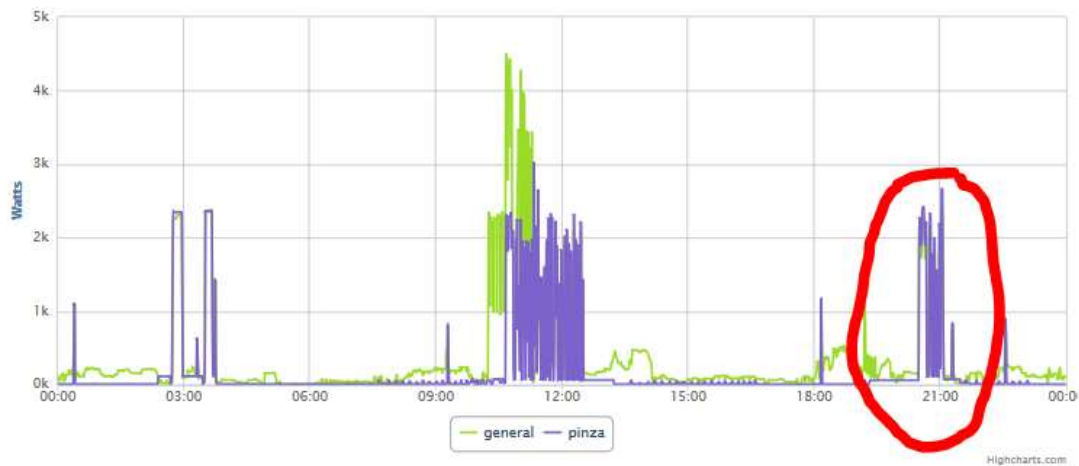
Finalment es procedeix a un segon cicle de rentat idèntic al cicle inicial que acaba amb l'aclarit de la vaixella que un cop finalitzat torna al seu consum nul.



Gràfica 3.6. Gràfica ampliada de la potència elèctrica del rentaplats. (Font: Generació pròpia)

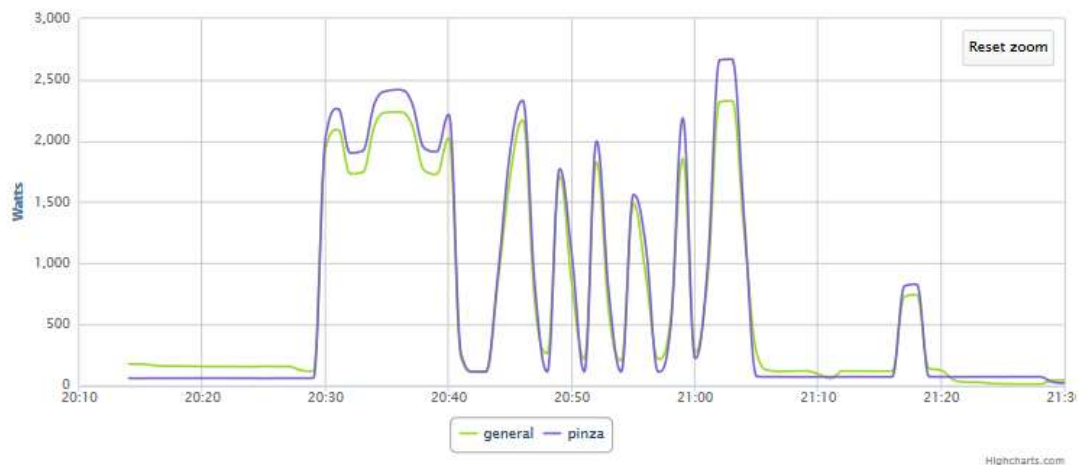
- Vitroceràmica

La vitroceràmica malgrat és un aparell de us constant previ als àpats es podria dir que mai té un horari programat tot i que habitualment s'usa dos cops al dia, per afegir a aquesta variabilitat la vitroceràmica en qüestió té tres fogons els quals cada un té 9 nivells diferents de potència, això fa molt difícil la casuística d'aquest aparell que varia molt depenent del ús.

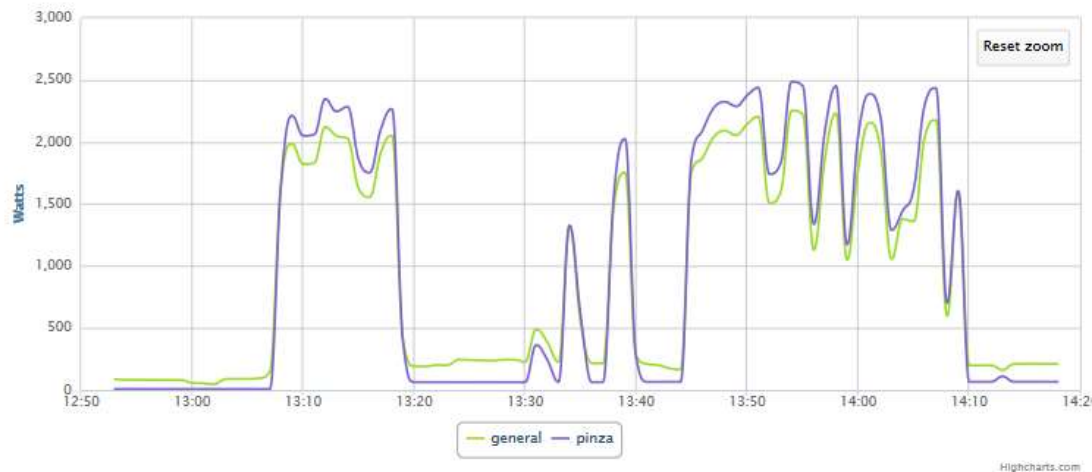


Gràfica 3.7. Gràfica de potència elèctrica de la corba de la vitroceràmica assenyalada. (Font: **Generació pròpia**)

Tot i així a partir de les diferents gràfiques diàries es pot determinar que té un comportament oscil·latori en que esta a plena potència o esta en potència nul·la i depenent del nivell seleccionat esta més temps engegada o parada la bobina electromagnètica. Aquesta màxims sempre són del mateix valor i és proper als 2400 W al menys en les potències que s'ha utilitzat durant aquest més.



Gràfica 3.8. Gràfica ampliada de la potència elèctrica de la vitroceràmica 1. (Font: Generació pròpia)



Gràfica 3.9. Gràfica ampliada de la potència elèctrica de la vitroceràmica 2. (Font: Generació pròpia)

En aquest segon exemple es veu un comportament diferent al llarg del temps però es mantenen els mateixos màxims, també és apreciable en ambdues gràfiques un cicle inicial força similar que representa l'escalfament inicial de les olles o paelles.

- Rentadora

La rentadora utilitza un programa en fred ECO pel que inclús tenint una potència nominal de 2200 W en tots els dies ens apareixen màximes de només 300 W, per contra ens trobem amb un programa de gairebé dues hores.

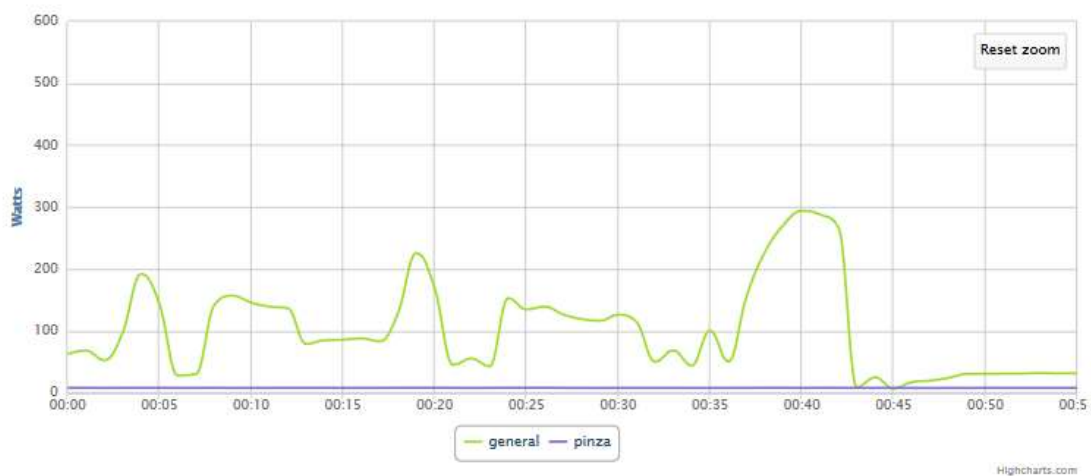
Aquest tipus d'estalvis són molt interessants perquè aquestes tasques normalment no estan subjectes a cap tipus de necessitat temporal pel que amb bona planificació ens podem permetre rentades que durin 3 i 4 cops més que un programa exprés però amb uns consums que rondin el 25%, aquest aspecte també ens beneficia ja que ens suposa menys potència i menys energia a subministrar.

En els següents gràfics es veu com la màquina comença el seu programa a les onze del vespre i acaba a tres quarts d'una, sumant un total de programa de 1 hora i 45 minuts.



Gràfica 3.10. Gràfica ampliada de la potència elèctrica de la rentadora. (Font: Generació pròpia)

El programa comença amb un període constant de remull que té uns màxims de 125 W molt constants amb lleugeres oscil·lacions, aquest dura 45 minuts fins que es procedeix a fer cicles més irregulars de rentat progressius amb cada cop més potència, 150, 180, 225 i 300 W respectivament amb una durada de 15 minuts per cicle.

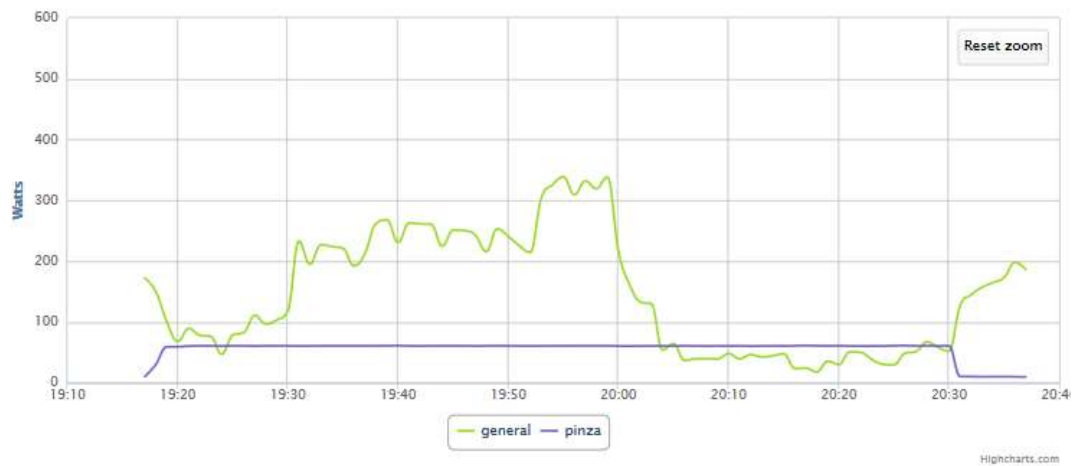


Gràfica 3.11. Continuació de la gràfica de la potència elèctrica de la rentadora. (Font: Generació pròpia)

- Planxa

La planxa al igual que la vitroceràmica, el forn o el microones no té un horari fixat i té una potència nominal de 300 W, aquesta consisteix en una resistència la qual s'escalfa a partir del corrent subministrat.

La seva corba de potència també depèn molt del nivell d'intensitat seleccionat però tot i així al ser una màquina controlada per un termòmetre aquest desconnecta cada cop que es supera la temperatura desitjada, d'aquí surten les oscil·lacions constants en els màxims que també es poden apreciar en el forn pel mateix mecanisme.

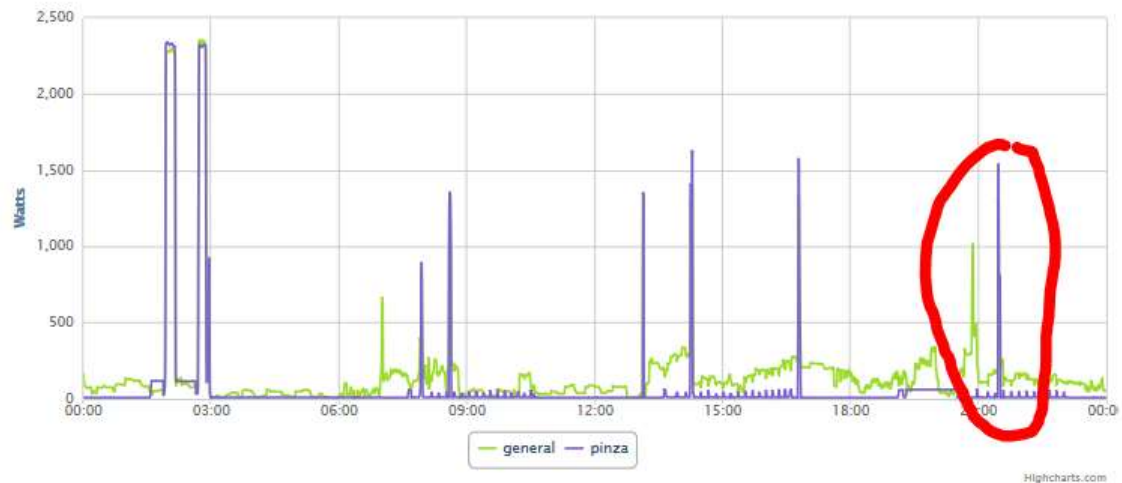


Gràfica 3.12. Gràfica de potència elèctrica amb la corba de la planxa ampliada. (Font: Generació pròpia)

La planxa en qüestió té una opció en la que desprèn vapor d'aigua al prémer un botó, en usar-lo el consum no va augmentar ja que aquest només obre els orificis on hi ha l'aigua emmagatzemada i la deixa caure a través de la planxa a alta temperatura generant el vapor.

- Microones

El microones de tots els elements analitzats és el més difícil ja que normalment el seu us de forma quotidiana és en intervals molt curts de temps i la freqüència de presa de dades va ser fixada a un minut.



Gràfica 3.13. Gràfica de potència elèctrica de la corba del microones assenyalada. (Font: Generació pròpia)

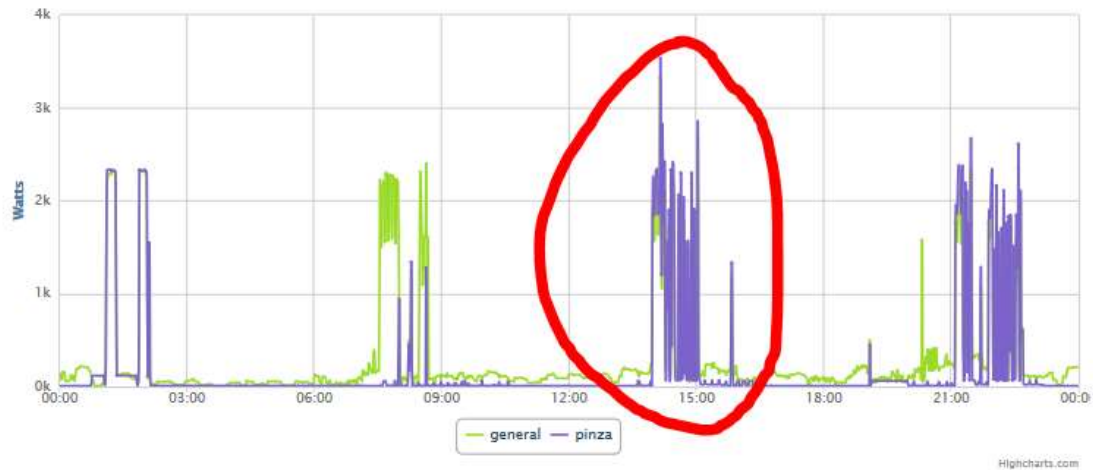
En aquest cas el temps d'ús és de 4 minuts i malgrat que en aquell moment la selecció era de màxima potència 1300 W es poden veure oscil·lacions on s'assoleixen màxims de 1500 W i tres punts alternats de 750 W pel que es pot determinar que malgrat el microones no usa un termòmetre per fixa els moments de connexió si que utilitza un programa preestablert on s'alternen diferents potències en diferents moments de temps per assolir la potència mitja desitjada per el període de temps programat.



Gràfica 3.14. Gràfica de potència elèctrica amb la corba del microones ampliada. (Font: Generació pròpia)

- Forn

El forn també té un us esporàdic i normalment de llarga durada en comparació amb les altre carregues, aquest consisteix en unes resistències les quals es posen incandescent degut a la alta temperatura a la que arriben, en aquesta gràfica en partícula podem veure un us continuat del forn a 200 graus centígrads durant 1 hora i 10 minuts.



Gràfica 3.15. Gràfica de potència elèctrica amb la corba del forn assenyalada. (Font: Generació pròpia)

Inicialment el forn presenta un perfil més constant durant els primers 20 minuts en que s'està escalfant per arribar a la temperatura sol·licitada arribant a màxims de més de 3000 W, posteriorment es veuen un seguit d'oscil·lacions molt constants en que el termòstat connecta a una potència de 2000 W o pel contrari desconnecta resultant en una potència nul·la.



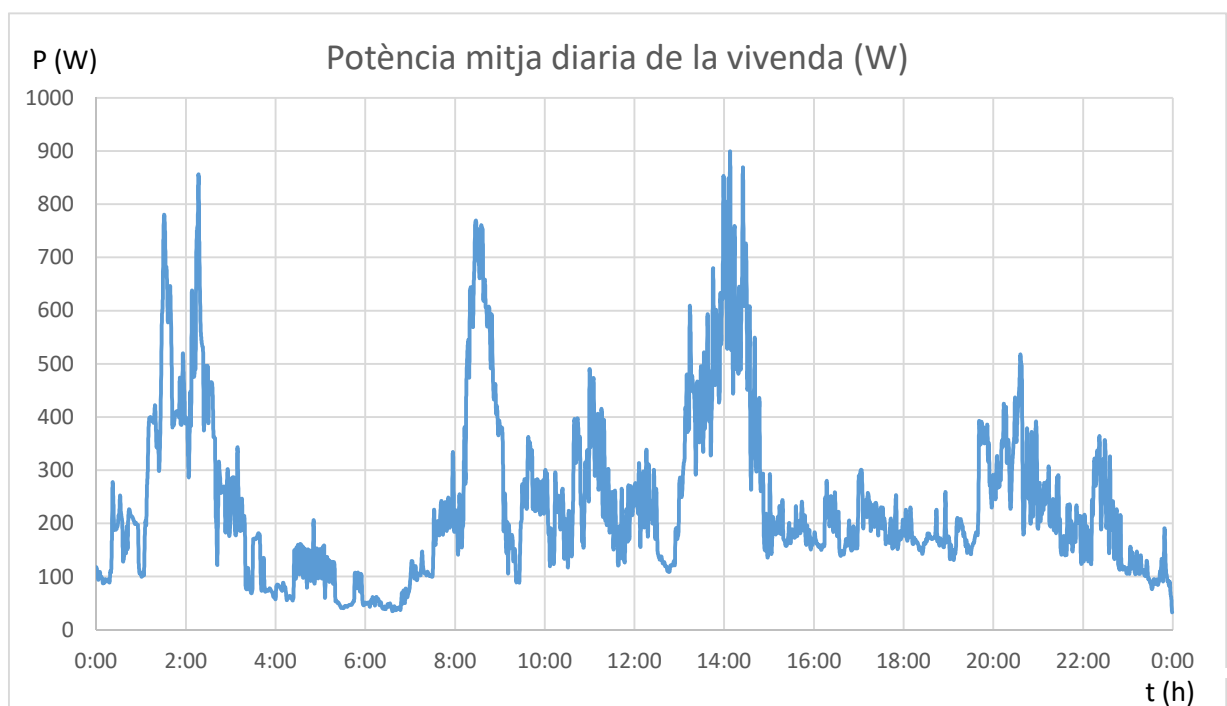
Gràfica 3.16. Gràfica de potència elèctrica amb la corba del forn ampliada. (Font: Generació pròpia)

3.4.3. Perfils de carregues generals

Un cop s'han analitzat totes les carregues principals podrem determinar quin és el perfil estàndard de l'habitatge en qüestió, més que establir un perfil estàndard el que es vol és establir quins són els nivells de potència diaris i quan dura cada un de mitjana diària, quins màxims hi ha, quina és la potència residual només amb les carregues constants en *stand-by* i quina és la energia mitjana a compensar diàriament.

La potència mitja en el mes analitzat és de 500 kWh malgrat que en les factures es pot veure que en mesos d'hivern o de ple estiu el consum es una mica superior, de mitjana uns 600 kWh.

El gràfic a continuació mostra la potència mitja al llarg del mes analitzat en cada moment del dia, aquest gràfic s'ha realitzat utilitzant més de 40.000 punts diferents en els que s'ha fet la lectura de potència instantània en aquell minut en concret.



Gràfica 3.17. Gràfica de potència elèctrica mitja diària (Font: Generació pròpia).

D'aquest gràfic s'extrau que de mitjana hi ha uns quatre màxims diaris de uns 1000 W que tenen una durada mitja de 1 hora, per altra banda malgrat el gràfic determini un valor mínim mitja de 200 W a partir de la base de dades recollida determinem que en hores on no es fa servir cap càrrega puntual aquest consum es d'entre 10 W i 20 W.

També s'ha recollit un màxim de 4636 W i el valor de 4000 W s'ha superat un total de 20 cops recollits majoritàriament en 2 dies concrets, pel que establirem que són potències molt puntuals. La mitjana dels màxims (valors per sobre de 1000 W) assoleix un valor al voltant de 1800 W.

A partir d'aquestes dades s'extreu el següent model de perfil de carregues que el conjunt de la microxarxa haurà de ser capaç de subministrar diàriament:

- **La majoria d'hores (+65%) el consum serà de 20 W.**
- **La potència màxima instantània a suportar serà de 4,5 kW.**
- **S'haurà de poder subministrar diàriament 1,8 kW fins a 5h al dia.**
- **L'energia mitja diària a subministrar serà de 20 kWh.**

3.5. Generació fotovoltaica

3.5.1. Introducció

Com a mètode de generació de la microxarxa s'ha optat per la generació fotovoltaica, aquesta és de les més netes que hi ha i comparada amb l'altre alternativa, la generació eòlica, és de més fàcil aplicació per temes arquitectònics a més de que la inversió inicial per la mateixa potència és varies vegades major en la segona opció.

Un altre factor a destacar és que la tecnologia s'ha abaratit moltíssim en els últims anys fins a valors 0,65 euros el W pel que per a una aplicació a tan petita escala és de les opcions més aconsellables.

L'últim factor determinant és l'alta radiació solar en la zona del Alt Penedès com mostra el gràfic generat per l'entitat d'estudis monogràfics de la Generalitat de Catalunya l'any 2000 que tenim a continuació, aquesta irradiació global diària arriba anualment de mitjana als 15 MJ per metre quadrat.

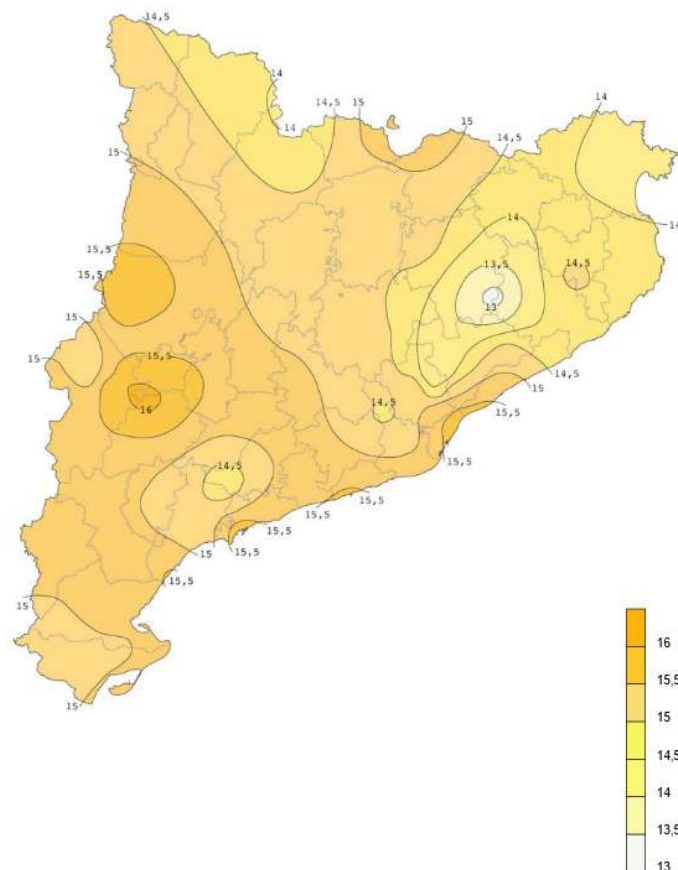


Figura 3.4. Irradiació global diària / mitjana anual. (Font: GENCAT)

3.5.2. Elecció de la tecnologia

La tecnologia seleccionada és una opció de mercat que en condicions òptimes té una potència nominal de 300 W per panell amb unes dimensions de 1 metre per 2 metres, l'eficiència solar que obté és del 15% i treballa a una tensió de uns 40 V. El preu d'aquests mòduls és de uns 200 euros per unitat.

Datasheet Crystalline PV Module CHSM6612P Series	
300	
ELECTRICAL SPECIFICATIONS	
STC rated output (P_{mpp})*	300 Wp
PTC rated output (P_{mpp})**	273.2 Wp
Standard sorted output	
Warranted power output STC ($P_{nominal}$)	300 Wp
Rated voltage (V_{mpp}) at STC	35.74 V
Rated current (I_{mpp}) at STC	8.40 A
Open circuit voltage (V_{oc}) at STC	45.16 V
Short circuit current (I_{sc}) at STC	8.91 A
Module efficiency	15.5%
Rated output (P_{mpp}) at NOCT	209.5 Wp
Rated voltage (V_{mpp}) at NOCT	32.63 V
Rated current (I_{mpp}) at NOCT	6.42 A
Open circuit voltage (V_{oc}) at NOCT	41.44 V
Short circuit current (I_{sc}) at NOCT	6.89 A

Taula 3.1. Fitxa tècnica del panell fotovoltaic CHSM6612P. (Font: Astroenergy Solar)

La superfície disponible és la següent:

- Cara sud teulada superior : $5.8 \times 4.3 = 31 \text{ m}^2$
- Teulada inferior (sobre sala d'estar): $5.8 \times 5.35 = 20 \text{ m}^2$

*Orientació cas Nord-Sud (lleugera desviació al Sud-est la qual ja s'ha introduït en el programa de càlcul PVGIS)

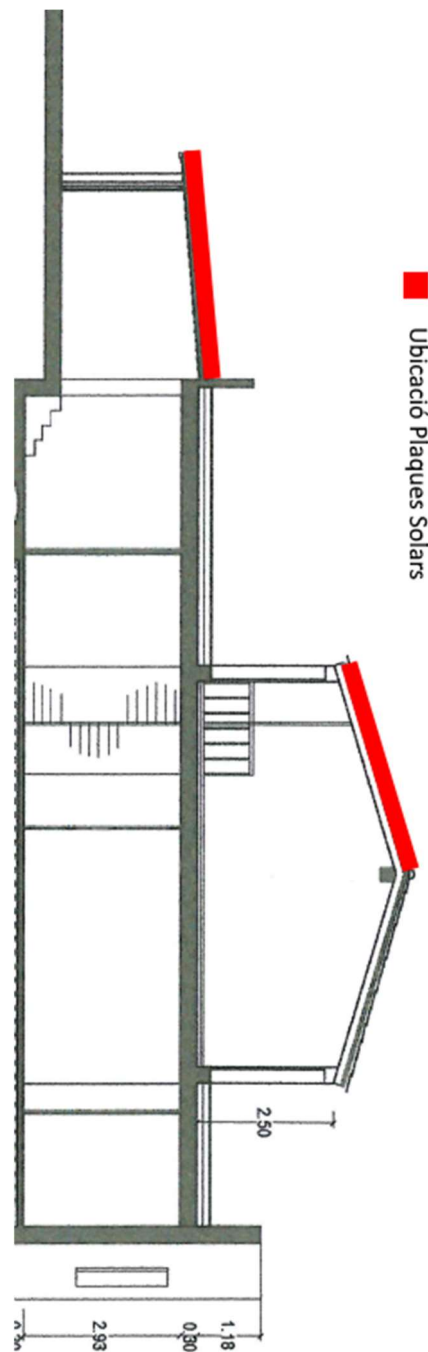


Figura 3.5. Ubicació dels panells solars a instal·lar. (Font: Plànols de construcció)

Aquesta combinació d'àrees deixa una total útil de 50 m^2 on si es respecten les distàncies mínimes entre panells indicades pel fabricant (15 cm) s'obté un total de 20 panells en 4 files de 5 com es pot apreciar en el següent panell.

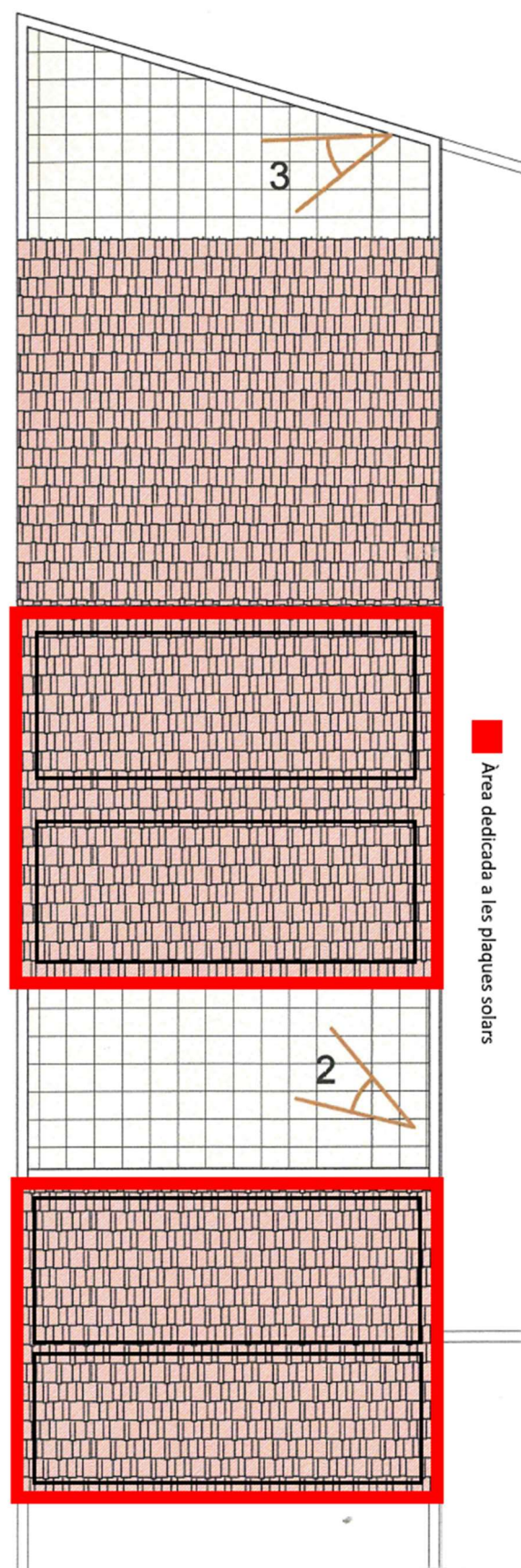


Figura 3.6. Distribució dels panells solars a instal·lar. (Font: Plànols de construcció)

3.5.3. Càlculs del perfil de generació

Per fer una estimació de l'energia recollida pels panells solars s'ha utilitzat el programa i base de dades PVGIS amb la localització exacte i les següents constants fixades[14]:

- Localització: 41°25'23" Nord, 1°47'11" Est, Elevació: 147 m s.n.m.
- Base de dades utilitzada: PVGIS-CMSAF
- Potència nominal: 6.0 kW (Silicona cristal·lina)
- Pèrdues del circuit elèctric: 20% (inversor, cables ...)
- Orientació respecte l'eix Nord-Sud: 4°

A partir d'aquestes el programa et retorna l'estimació anual de generació al igual que l'angle òptim dels panells i les pèrdues estimades les quals es troben a continuació:

- Pèrdues per baixa irradiància i temperatura: 10,2%
- Pèrdues per reflectància: 2,5%
- Pèrdues combinades del sistema de generació: 29,9%
- Angle d'inclinació òptim: 37°

Mes	E _d	E _m	H _d	H _m
Jan	17.10	530	3.84	119
Feb	21.20	594	4.81	135
Mar	25.70	798	6.00	186
Apr	25.00	751	5.95	178
May	26.70	828	6.45	200
Jun	27.70	832	6.83	205
Jul	28.00	867	6.95	215
Aug	26.50	822	6.61	205
Sep	24.00	721	5.87	176
Oct	21.40	662	5.09	158
Nov	17.00	509	3.91	117
Dec	15.70	488	3.56	110
Mitjana anual	23.0	700	5.49	167
Total anual	8400	-	2000	-

Taula 3.2. Taula d'energia generada i irradiació global del sistema de generació. (Font: PVGIS)

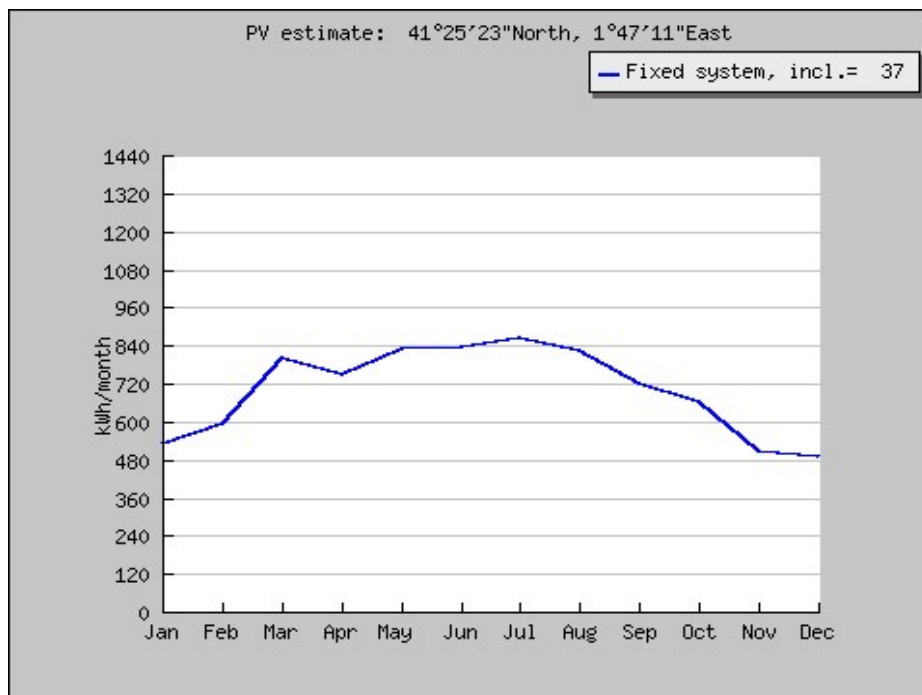
E_d : Mitjana diària d'energia produïda pel sistema (kWh)

E_m : Mitjana mensual d'energia produïda pel sistema (kWh)

H_d : Mitjana diària de irradiació global per metre quadrat rebuda pels mòduls del sistema (kWh/m²)

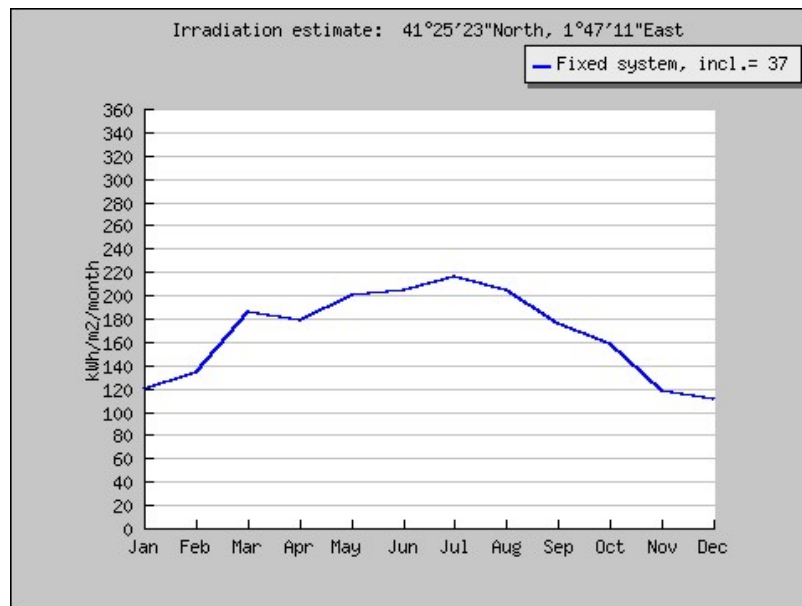
H_m : Mitjana mensual de irradiació global per metre quadrat rebuda pels mòduls del sistema (kWh/m²)

La següent gràfica mostra la generació d'energia mensual pel sistema seleccionat la qual abans del càlcul de les pèrdues per emmagatzematge és molt prometedora:



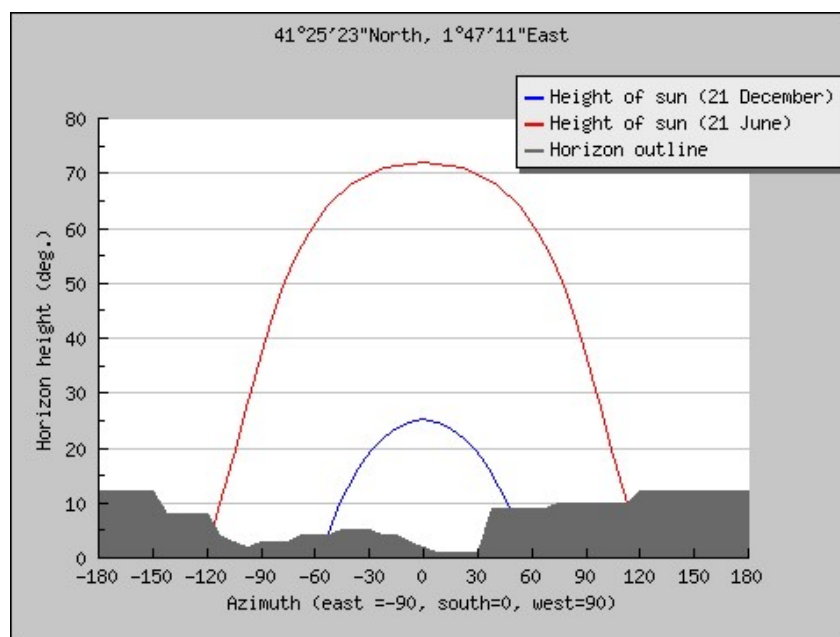
Gràfica 3.18. Gràfica d'energia generada mensualment pel sistema . (Font: PVGIS)

El mateix programa fa la mateixa gràfica però per la irradiació global mitja mensual a partir de les seves estimacions:



Gràfica 3.19. Gràfica d'irradiació global mensualment del sistema . (Font: PVGIS)

Finalment dona el perfil Azimut diari del sol per als mesos de Desembre i Juny que seria útil de tenir obstacles propers ja que s'haurien de tenir en compte pel càlcul, en el cas del sistema plantejat no hi ha cap obstacle proper al trobar-se en un punt elevat de les afores del poble.



Gràfica 3.20. Gràfica d'azimut de la localització . (Font: PVGIS)

3.6. Banc de bateries

3.6.1. Introducció

Si realment es vol fer un impacte i aprofitar al màxim la gestió intel·ligent de la casa no es podria procedir sense introduir un sistema d'emmagatzemat d'energia ja que si es fes de manera directa l'abocament a la xarxa els beneficis de *peak-shaving* i temps de desconexió quedarien descartats.

3.6.2. Elecció del banc de bateries

S'optarà per un sistema de dos grups de bateries, unes de més alt rendiment encarregades principalment del *peak-shaving* i de poder donar una potència nominal alta en els pics de consum, i una altre la qual malgrat no tingui tan bones prestacions tingui força bona densitat de energia i en la que es tingui emmagatzemada la major part de la reserva energètica en cas de desconexió.

Aquest temps de desconexió ja s'ha establert prèviament que seria de 3 dies on es podrien seguir usant amb normalitat les carregues primàries.

L'espai necessari per a les bateries s'ha fixat sobre el safareig de la casa, molt a prop de la gestió fotovoltaica per evitar més pèrdues i era una zona en desús:

- Sobre safareig: $5.5 \times 2.05 = 11,28 \text{ m}^2$
- Sostre inclinat de 1.5 m a 20 cm

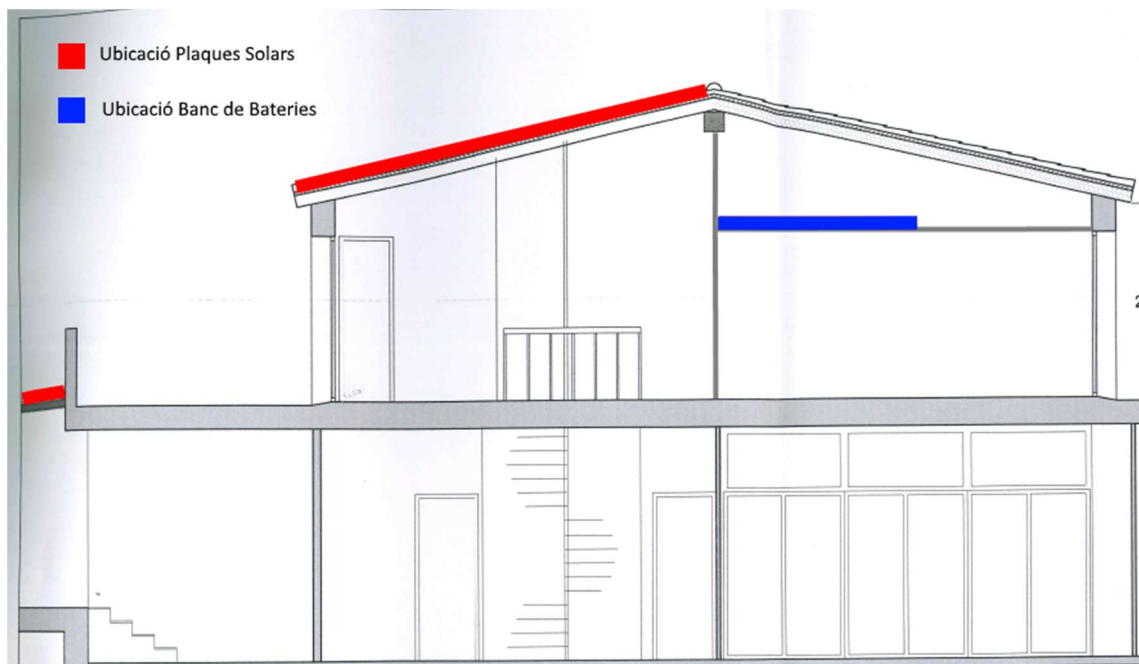


Figura 3.7. Distribució del banc de bateries a instal·lar. (Font: Plànols de construcció)

3.6.3. Dimensionament del grup de bateries primari

Aquest serà el grup de bateries més gran on es tindrà una gran quantitat d'energia acumulada, la potència nominal d'aquesta tot i que important no serà el factor determinant, sinó que optarem per una tecnologia més econòmica i que ens ofereixi la major quantitat d'energia pel preu sempre i quan per espai ens hi segueixi cabent.

L'energia elèctrica consumida a la nostra llar mensualment és de 600 kWh, diàriament és 20 kWh el qual ens sortirà a una quantitat estimada d'energia a acumular de 60 kWh o $2,16 \cdot 10^8$ Joules.

Sabent que la densitat més estàndard en les bateries plom àcid es de 30 Wh/kg, ja podrem veure que acumular aquesta quantitat d'energia es força difícil. Cal dir que aquesta és la tecnologia que usarem ja que és la més econòmica i la més utilitzada en aquest tipus d'aplicacions.

Si s'obstés per dimensionar aquest grup a partir de les carregues analitzades i utilitzéssim la separació entre carregues primàries i secundaries podríem reduir l'energia total necessària diària per a la nostra llar en el cas extrem de desconnexió de la xarxa a una quantitat més acceptable.

Carregues primàries establertes:

- Stand-by mitja 30 W/h
- Llumina imprescindible i carregues puntuals 50 W/h
- Ús d'electrodomèstics puntuals per a cuinar 100 W/h

$$E_{diaria} = Consum\ nominal_{carregues\ primaries} * 24hores * 3dies = 12,96kWh \quad (Eq.1)$$

La qual s'arrodoneix a 15 kWh que seria el 25 % de la energia mitjana en condicions normals.

3.6.4. Selecció del grup de bateries

Com s'ha dit anteriorment s'utilitzarà la tecnologia de plom-àcid que és la més convencional en aquest tipus d'instal·lacions, també haurem de triar la mida dels mòduls i la quantitat.

Els mòduls triats són de 12 V i una capacitat de 85 A*h, que es la unitat més estàndard en que es mesuren les bateries, i s'utilitzarà un banc de 15 bateries connectades en paral·lel per tal de mantenir aquets 12V però multiplicant aquesta capacitat per 15, seguidament es mostra la conversió a kWh per tal de comprovar que l'energia que tindrem emmagatzemada és aproximadament la esperada.

$$E_{banc} = 15 * 85A * h * 3600 \frac{s}{h} * 12V = 5,184 * 10^7 \text{Joules} = 15,3kWh \text{ (Eq.2)}$$

Model	Nominal Voltage (V)	Capacity Ah 1.80 UPC 20°C		Dimension (mm)						Weight (kg)	QTY x P
		C20	C100	Length		Width		Height			
				mm	in	mm	in	mm	in		
SPO70	12	60	70	242	9.53	175	6.89	190	7.48	14,9	63
SPO85	12	75	85	278	10.94	175	6.89	190	7.48	18,0	57
SPO90	12	80	90	270	10.73	175	6.89	220	8.66	18,7	57
SPO110	12	90	110	353	13.90	175	6.89	190	7.48	21,8	36
SPO115	12	100	115	304	11.97	175	6.89	220	8.66	23,9	56
SPO120	12	105	120	345	13.58	175	6.89	230	9.06	27,1	48
SPO140	12	125	140	345	13.58	175	6.89	285	11.22	30,2	36
SPO165	12	140	165	513	20.20	189	7.44	223	8.78	37,5	32
SPO205	12	180	205	513	20.20	223	8.78	223	8.78	46,5	21
SPO225	12	200	225	518	20.39	274	10.79	242	9.53	56,2	18
SPO250	12	230	250	518	20.39	274	10.79	242	9.53	58,0	18
SPO260	6	240	260	244	9.61	190	7.48	274	10.79	29,0	30

Taula 3.3. Fitxa tècnica del mòdul de bateria seleccionat SPO85. (Font: U-Power)

El mòdul en qüestió garanteix més de 800 cicles, 400 de profunds seguint els estàndards europeus IEC 61427, té tecnologia de prevenció de corrosió de les plaques internes i esta dissenyada específicament per la aplicació fotovoltaica. El cost de cada mòdul és de 90 euros.

3.6.5. Selecció del segon grup de bateries

Aquest grup de bateries té un objectiu d'amortir un màxim de 2kw durant 5 minuts per tal de reduir els pics de potència sol·licitats a la xarxa elèctrica. Utilitzarem bateries de tecnologia AGM que permeten molts més cicles i majors corrents de descàrrega, per això usarem un bloc de bateria de 250 Ah d'alt rendiment que inclús a plena càrrega ens duraria gairebé una hora.

La bateria triada dona fins a 540 ampers en una descàrrega de 5 minuts el qual amb la seva tensió a 12V ofereix una potència màxima de uns 6kW després de pèrdues per escalfament. El cost d'aquest mòdul és de 300 euros.

Mechanical Characteristics		
	SI Units	US Units
Length	555 mm	21.8 inches
Width	125 mm	4.9 inches
Height	320 mm	12.6 inches
Typical Weight	59.2 kg	130.5 lbs
Terminal Torque	8.0 Nm	70.8 in.lbs
All batteries are fully compliant with IEC 60 896 - 21/22, EN 60 896 - part 2, BS 6290 - part 4		

Electrical Characteristics	
Nominal voltage	12 Volts
10 hour capacity to 1.80 Vpc	190.0 Ah
100 h capacity to 1.80 Vpc	250 Ah
Float voltage	2.27-2.29 Vpc at 20°C, 2.40 Vpc at 20°C
Accelerated recharge	According to operational instructions
Shelf life	Up to 1 year
Short circuit current	3165 Amps
Internal resistance	3.95 mΩ

Discharge performance at constant current discharge (A) at 25°C												
Uf, Vpc	5 min	15 min	30 min	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	8 h	10 h	20 h
1.60	545	339	223	129	76.0	52.4	41.4	34.4	29.9	23.9	19.4	10.4
1.65	537	328	219	127	75.6	51.2	41.3	34.3	29.8	23.8	19.3	10.3
1.70	497	316	212	124	75.2	51.0	41.2	34.2	29.7	23.5	19.2	10.2
1.75	442	298	201	122	74.6	50.8	40.7	34.0	29.6	23.4	19.1	10.1
1.80	382	278	174	116	73.9	50.3	40.2	33.6	29.4	22.9	19.0	10.0
1.85	336	245	167	109	72.7	49.4	39.5	32.9	28.8	22.6	18.7	9.8

Taula 3.4. Fitxa tècnica del mòdul de bateria seleccionat UP-TFS250-12. (Font: U-Power)

3.6.6. Regulació del banc de bateries

La potència de descàrrega supera la contractada pel que mai serà un problema suplir aquesta sempre i quan les bateries estiguin carregades, pel que fa la potència de càrrega de les bateries es fixa a 300 W.

La bateria de resposta sempre serà la del segon grup pel que tota l'energia a proporcionar a la instal·lació passarà per aquesta, el motiu és que la tecnologia AGM està preparada per molts més cicles que les bateries d'àcid tradicional pel que s'allargarà la vida el conjunt.

3.7. Escenaris possibles i elecció

3.7.1. Presentació dels escenaris

De la manera que esta actualment la normativa espanyola és important seguir sempre la legalitat i estar sempre el dia de la legislació vigent per la teva instal·lació. També hi ha un seguit de costos, remuneracions i condicions alhora d'avocar energia o no a la xarxa elèctrica, per altra banda també s'ha de valorar si es vol estar completament aïllat o no de la xarxa convencional.

A continuació hi ha tots els escenaris possibles on cada un s'ha d'efectuar de manera diferent la instal·lació elèctrica física tal i com la tramitació burocràtica pertinent, la diferencia entre aquests opcions s'ha cobert àmpliament en l'exposició de la normativa actual en l'apartat 2.5.

-Escenari inicial

- **Connectat a la xarxa convencional**
- **Sense control Intel·ligent**
- **Sense generació**
- **0 dies de temps de desconexió**

-Escenari 1

- **Connectat a la xarxa convencional**
- **Amb control Intel·ligent (HEMS)**
- **Amb generació**
- **Amb bateries**
- **3 dies de temps de desconexió**
- **Amb abocament a la xarxa**

-Escenari 2

- **Connectat a la xarxa convencional**
- **Amb control Intel·ligent (HEMS)**
- **Amb generació**
- **Sense bateries**
- **0 dies de temps de desconexió**
- **Amb abocament a la xarxa**

-Escenari 3

- Desconnectat a la xarxa convencional
- Amb control Intel·ligent (HEMS)
- Amb generació
- Amb bateries
- Necessitat d'alternatives per temporada baixa de radiació

-Escenari 4

- Connectat a la xarxa convencional
- Amb control Intel·ligent (HEMS)
- Amb generació
- Amb bateries
- 3 dies de temps de desconnexió
- Sense abocament a la xarxa

3.7.2. Taula comparativa dels escenaris

Escenari Inicial	Escenari 1	Escenari 2	Escenari 3	Escenari 4
<ul style="list-style-type: none"> -Factura estàndard -Cost d'implementació 0 -0 dies de temps de desconexió -Cap remuneració extra -Eficiència directament lligada a les carregues 	<ul style="list-style-type: none"> -Inscripció en el registre de producció -Cost d'implementació superior -Temps de desconexió 3 dies -Major impacte en la eficiència global de l'habitatge -Major cost de peatges per l'abocament -Remuneració a determinar anualment -Gestió més eficient de la energia de la casa (HEMS) 	<ul style="list-style-type: none"> -Inscripció en el registre de producció -Cost d'implementació alt (menor) -Temps de desconexió 0 -Major impacte en la eficiència global de l'habitatge -Major cost de peatges per l'abocament -Remuneració a determinar anualment -Gestió més eficient de la energia de la casa (HEMS) 	<ul style="list-style-type: none"> -No inscripció en el registre de producció o consum -Cost d'implementació alt (menor) -Temps de desconexió 3 dies -Major impacte en la eficiència global de l'habitatge -Cost 0 en la factura -Necessitat de sistema auxiliar de generació -Gestió més eficient de la energia de la casa (HEMS) 	<ul style="list-style-type: none"> -No inscripció en el registre de producció -Cost d'implementació alt -Temps de desconexió 3 dies -Major impacte en la eficiència global de l'habitatge -Menor cost de peatges per l'abocament -Sense remuneració -Gestió més eficient de la energia de la casa (HEMS)
	<p>Escenari escollit a partir de la normativa estudiada, i la comparativa efectuada en l'apartat 2.5.2.</p>	<p>La falta d'emmagatzematge d'energia provoca una ineficiència intrínseca que xoca amb els principis d'eficiència del projecte.</p>	<p>Previ estudi detallat de la generació fotovoltaica ja es té coneixement que l'energia mensual no cobriria la demanda, s'hauria d'afegir un generador dièsel el qual com s'ha expressat en apartats previs no es contempla pels mateixos principis d'eficiència.</p>	<p>Escenari valorat en la normativa i comparat amb l'escenari 1 en l'apartat 2.5.2, aquest es descarta perquè la diferència de cost només és la de l'estudi previ i en el cas d'aquesta instal·lació no superaria els 80 euros.</p>

Taula 3.5. Taula resum dels escenaris possibles i elecció. (Font: Generació pròpia)

3.7.3. Raonament de l'elecció

L'escenari 1 ofereix el major nombre de possibilitats, la única contrapartida és la necessitat de tenir que tramitar molt més quantitat de burocràcia per la instal·lació, també inclou la problemàtica de estar pendent del preu de l'energia fixat anualment per l'estat.

A més s'haurà de pagarà per l'energia auto generada de la mateixa manera que en l'escenari 4 però aquest cop si que es podrà cobrar l'energia abocada ala xarxa convencional. La doble direccionalitat de l'energia ens permetrà una millor gestió i aprofitament dels recursos naturals explotats, podrem treure rendiment de l'energia que la pròpia instal·lació no podria consumir.

Actualment aquesta opció és la més beneficiosa en de les dues modalitats, caldrà fer un posterior anàlisis si la llei és canviada i aquest es farà gracies a la retroalimentació proposada per la ISO 50001.

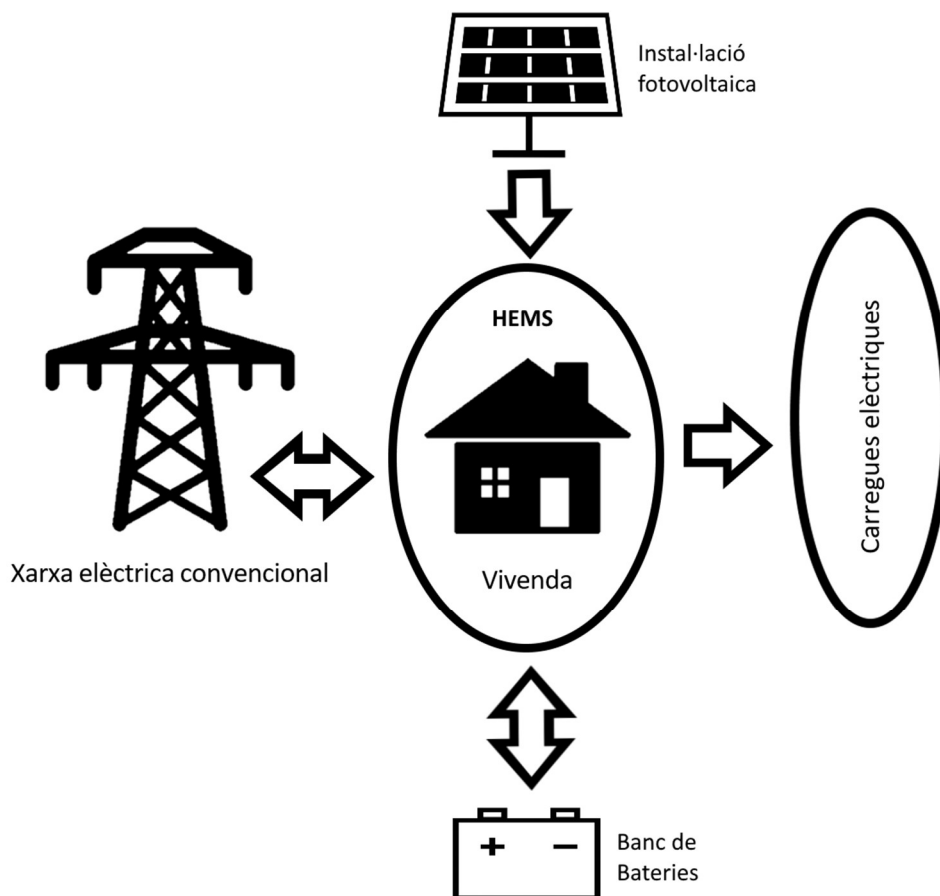


Figura 3.8. Concepte de la instal·lació. (Font: Generació pròpia)

3.8. Xarxa elèctrica

Inicialment la potència contractada a la companyia subministradora és de 5,75 kW, també el contracte és només en la modalitat de consumidor i el transport d'energia és sempre unidireccional en favor de l'habitatge. Els imports de facturació ronden els 120 euros mensuals i el terme de potència és de 15,04 euros. La baixada de potència es podria fer fins els 4,6 kW però llavors també s'ha de tenir en compte que només podríem afegir aquesta quantitat a la xarxa, la generació instal·lada té una potència nominal de 6 kW però en calcular les pèrdues de la instal·lació aquestes superen el 25% que en el millor dels casos permetrien abocar 4.5 kW de potència.

Per aquest motiu la potència contractada es baixa a 4,6 kW ja que a part de gaudir de generació l'HEMS també incorpora la funció de *peak-shaving*, on si s'anés a superar aquesta potència per les carregues instantànies les bateries i la fotovoltaica suplirien la resta per tal de no ser penalitzats en facturació.

Per tal de poder fer el canvi en la instal·lació hem de demanar un estudi previ i inscriure'ns en el registre de productors d'energia i un cop feta tota la instal·lació uns operaris de la xarxa elèctrica hauran de venir a comprovar aquesta el dia de la connexió.

Si no s'augmenta la potència de la instal·lació actual el canvi de cablejat no és necessari, però si que s'hauran de canviar els comptadors de la manera que s'explica en el següent apartat 3.9.

3.9. Equips de mesura i comptadors

Per a la modalitat 2 escollida s'ha de poder mesurar tan l'energia que surt com la que entra de la instal·lació completa al igual que l'energia que es consumeix o s'aporta en la generació (incloent bateries) i és opcional també per altre banda tenir lectura del consum propi de la instal·lació.

Donat que hi ha import per l'energia autoconsumida que és diferent a l'energia consumida des de la xarxa s'han de poder diferenciar aquests dos consums, finalment també és vol tenir un balanç entre l'energia que es genera a la instal·lació i la que s'aboca a la xarxa.

Per aquest motiu es substitueix el comptador existent en la frontera per un de doble direccionalitat a més d'afegir-ne un també de bidireccional en la generació.

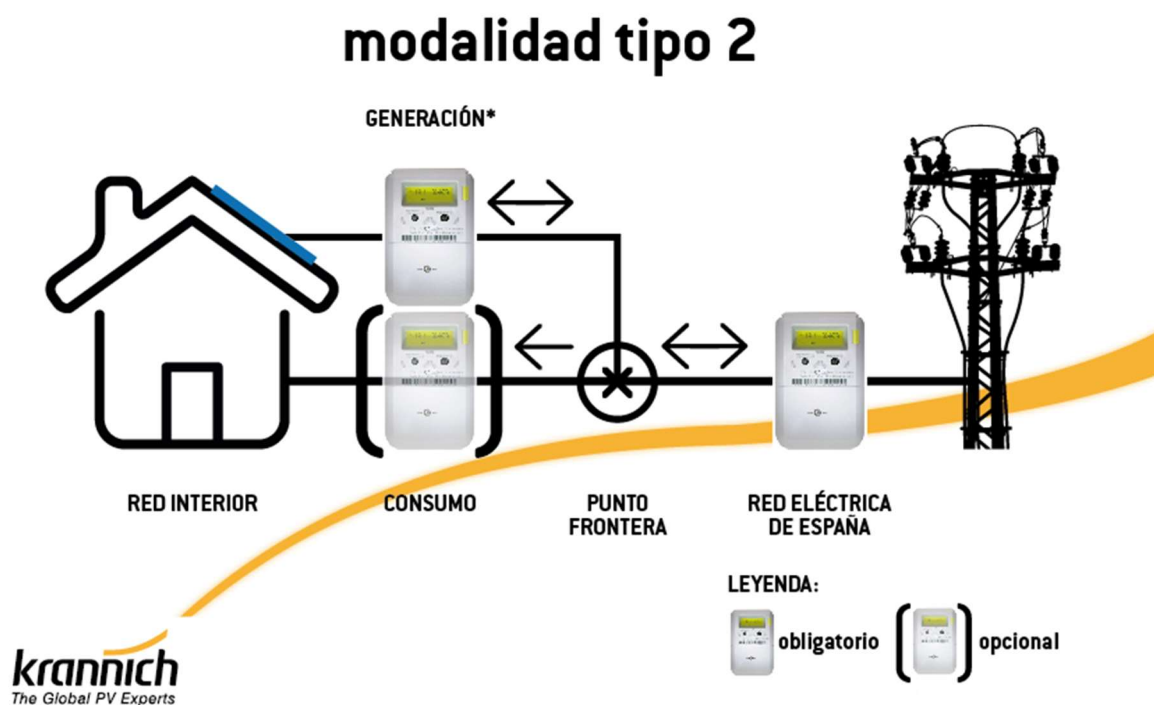


Figura 3.9. Distribució dels comptadors de companyia. (Font: Krannich)

3.10. Adaptació del HEMS a l'habitatge particular

Per tal de que l'HEMS funcioni correctament en una instal·lació s'ha d'introduir certa informació al programa, tan els valors particulars dels blocs com inclús s'hi si volgués afegir un mòdul per exemple d'un generador dièsel aquest també s'hauria de programar i adaptar els mòduls dels blocs un a un.

De la manera que esta plantejat l'algoritme en pseudocodi del HEMS, s'ha de fixar PX_{max} a la potència màxima que es vol absorbir de la xarxa convencional i en aquest valor serà on s'iniciarà el peak-shaving.

A partir de les especificacions tècniques de les bateries s'ha de fixar la potència de càrrega de les bateries (PCB) i la potència instantània màxima que aquestes poden subministrar (PDB).

També hi haurà un valor com és l'energia disponible en el banc de bateries que idealment ja es calcularà a partir dels sensors de nivell del banc de bateries (NB), i és molt interessant que només es tingui en compte l'energia utilitzable ja que neteja força el codi final. Per tant aquests aquesta variable EB sempre tindrà en compte el marge pel temps de desconnexió, per exemple si un banc de bateries té un 100% d'energia acumulada però un 75% és necessària pel temps de desconnexió, la proposta és que el valor de EB només tingui en compte aquest 25% per calcular l'energia disponible.

La constant NB_{max} s'haurà de fixar normalment al 100% si és que les variables d'energia i nivells de les bateries ja s'han fixat només calculant la capacitat utilitzable.

$I(t)$ que és una constant de temps que es calcula a partir del temps mínim que es vol que pugui fer *peak-shaving* el banc de bateries.

3.11. Plataforma física del HEMS

Per la plataforma física de control del HEMS s'ha optat per una sèrie de productes SMART HYDRO POWER la qual compta amb un centre de control intel·ligent i en la mateixa família incorpora tot tipus de sensors i actuadors amb grans ventalls d'ampliació. Aquesta sèrie també se li pot afegir el control tèrmic d'aigües si s'optés per ampliar la gestió a escalfament d'aigua.



Figura 3.10. Equip físic de control HEMS. (Font: SMART HYDRO POWER)

Inicialment s'utilitzaran els sensors propis dels mòduls com són els de les bateries i els panells fotovoltaics i en aparells que no comptin amb lectura propi s'hi afegirà un sensor de lectura de la mateixa sèrie de productes. També dir que aquest mòdul inclou un transformador rectificador que augmentarà la tensió de les bateries i la generació a 220V.

El mateix fabricant ens fa una representació del esquema conceptual de l'aparellatge elèctric el qual s'ha modificat ja que també abocarem energia a la xarxa en aquest cas.

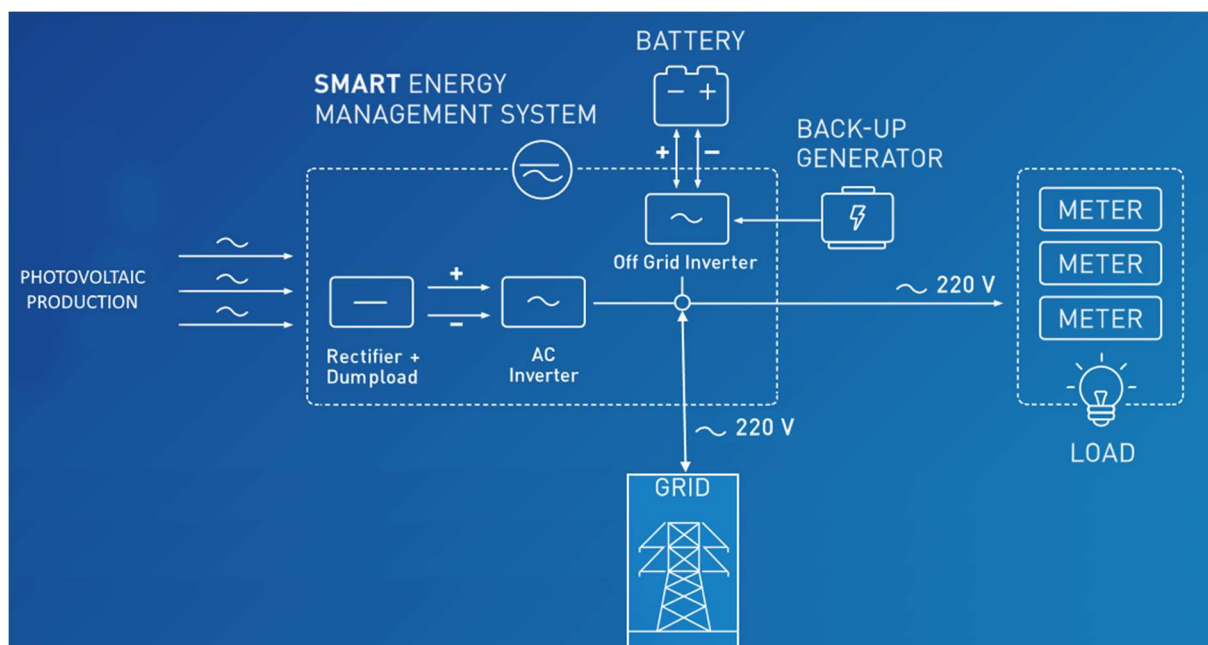


Figura 3.11. Esquema conceptual del equip físic de control HEMS. (Font: SMART HYDRO POWER)

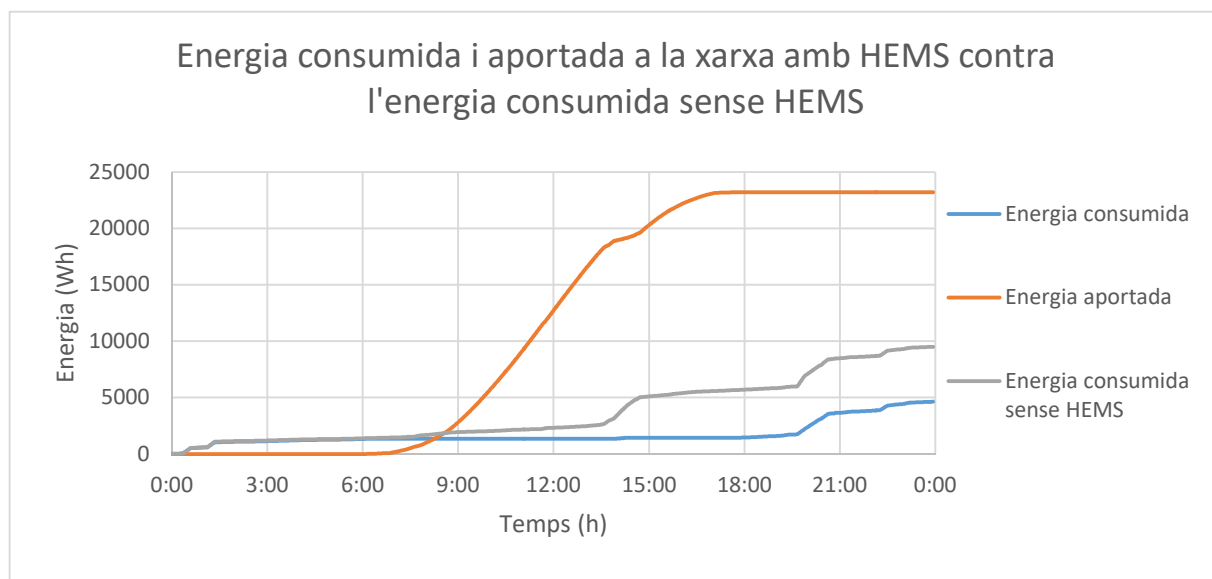
3.12. Simulació del comportament de la microxarxa

Per tal de preveure com serà el funcionament de la microxarxa un cop es posi en funcionament es fa una simulació prenent 7 dies al atzar dels consums presos amb la MIRUBOX a aquests se'ls hi suposarà una generació estàndard per aquell més amb el seu perfil particular, d'aquests dos flux de potència variable se l'hi aplicarà la gestió intel·ligent del HEMS dissenyat i veurem els resultats dels balanços d'energia pertinents.

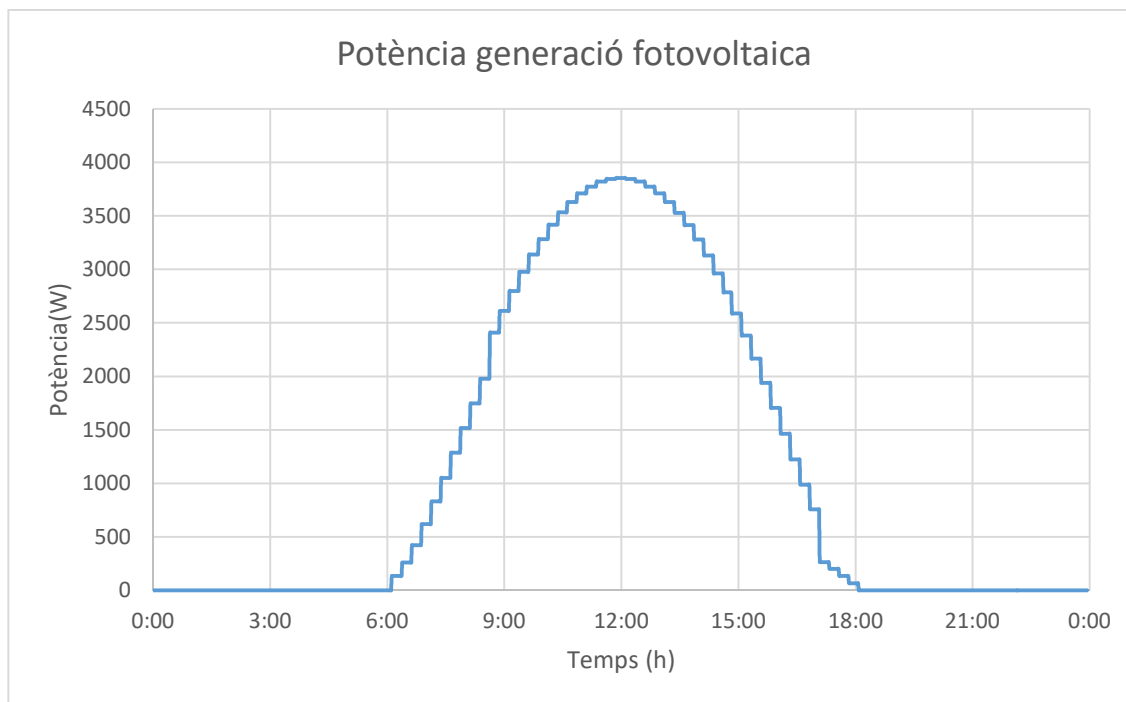
Inicialment les bateries estaran al 98% i al final de la setmana s'analitzarà si encara ho estan o a quin nivell estan.

Primer es mostraran les gràfiques diàries representatives al HEMS gestionant l'energia del dia 29 d'octubre de 2016, posteriorment s'exposaran les gràfiques setmanals i a continuació s'analitzarà els resultats i es valorarà la gestió del HEMS en comparació amb quan no estava instal·lat.

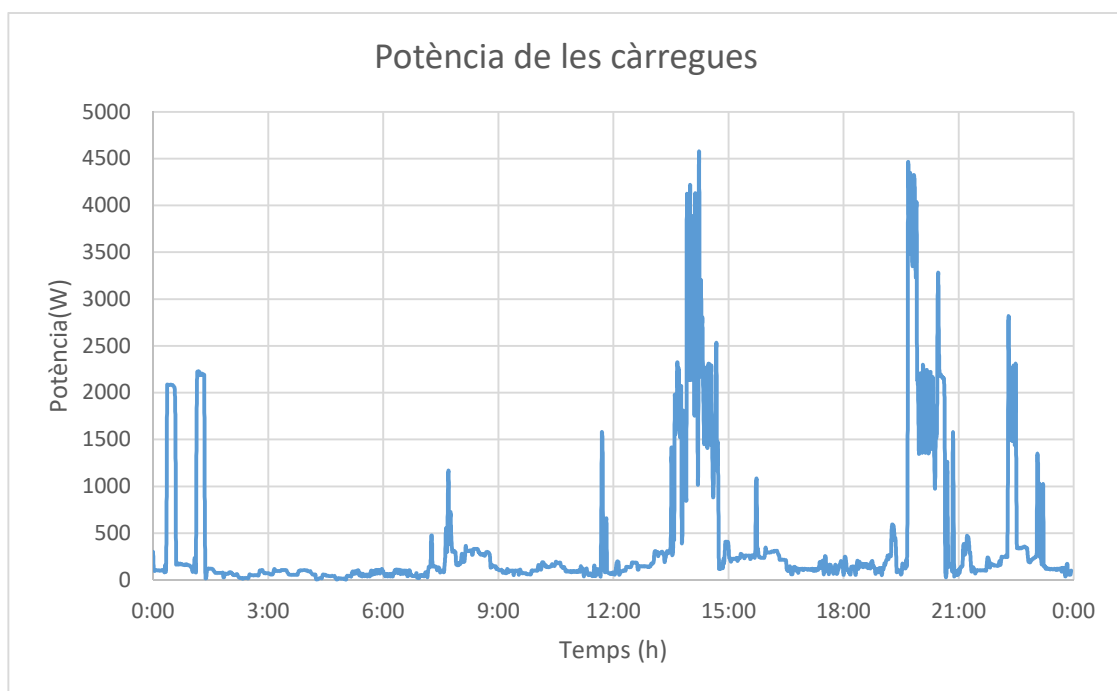
3.12.1. Simulació 29/10/2016



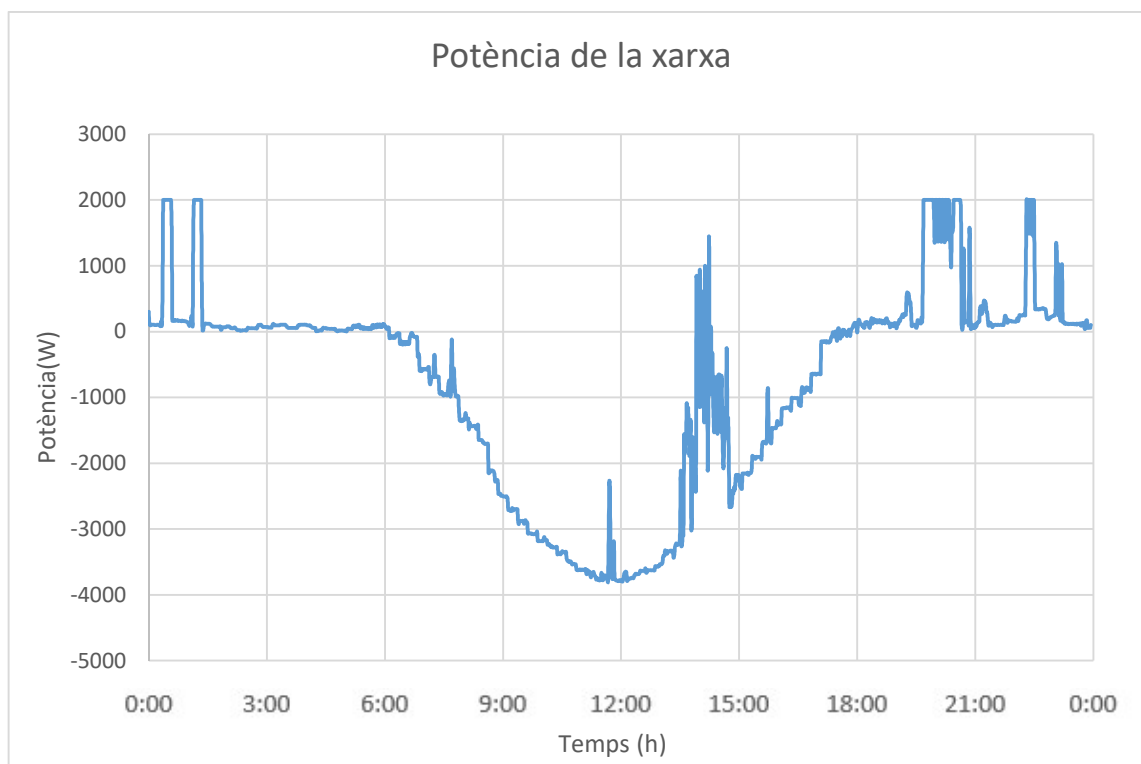
Gràfica 3.21. Gràfica del balanç d'energia diari. (Font: Generació pròpia)



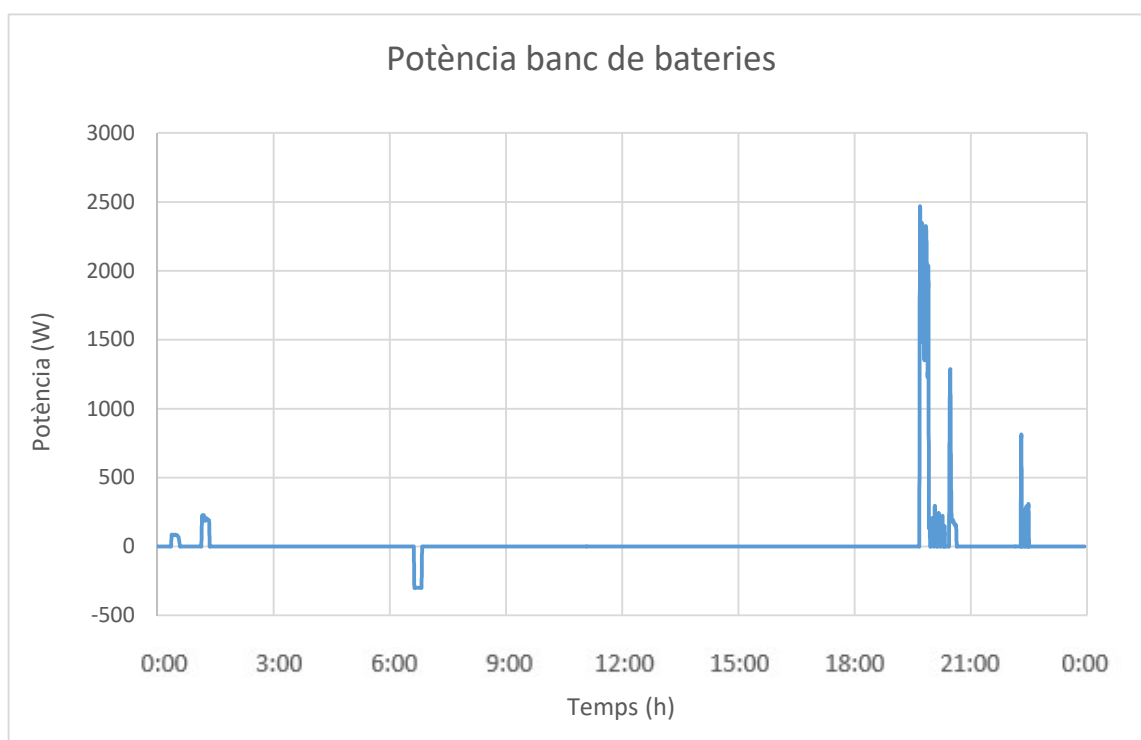
Gràfica 3.22. Gràfica de la potència de la instal·lació fotovoltaica. (Font: Generació pròpia)



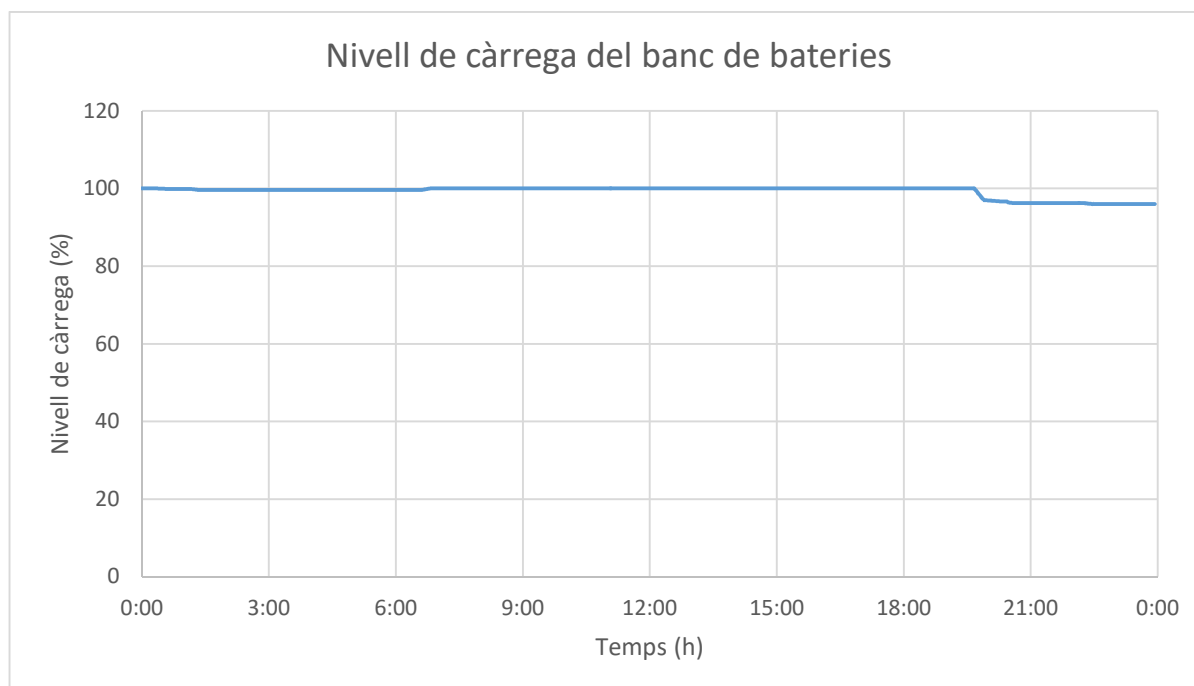
Gràfica 3.23. Gràfica de la potència de les càrregues. (Font: Generació pròpia)



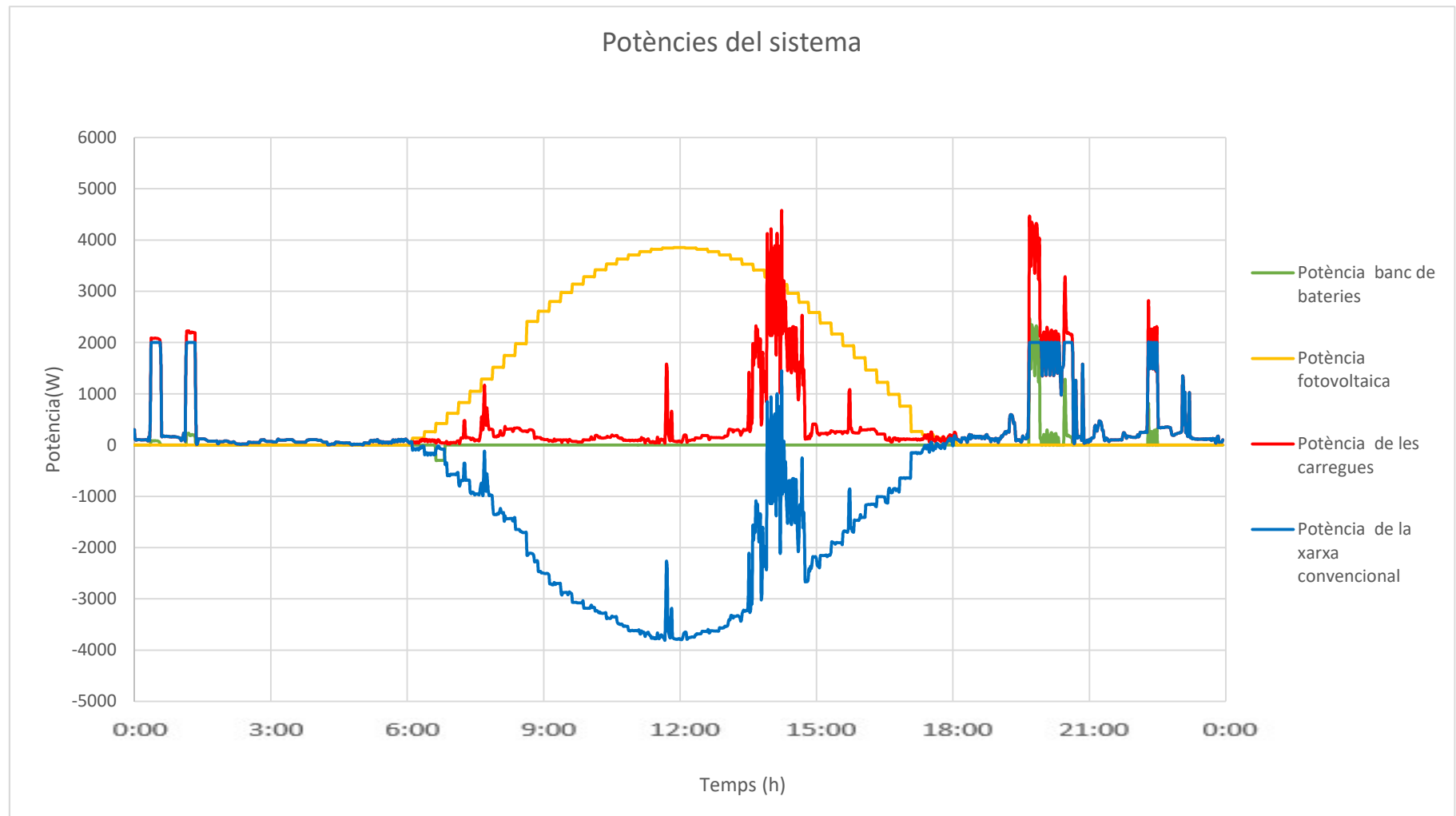
Gràfica 3.24. Gràfica de la potència de la xarxa convencional. (Font: Generació pròpia)



Gràfica 3.25. Gràfica de la potència del banc de bateries. (Font: Generació pròpia)

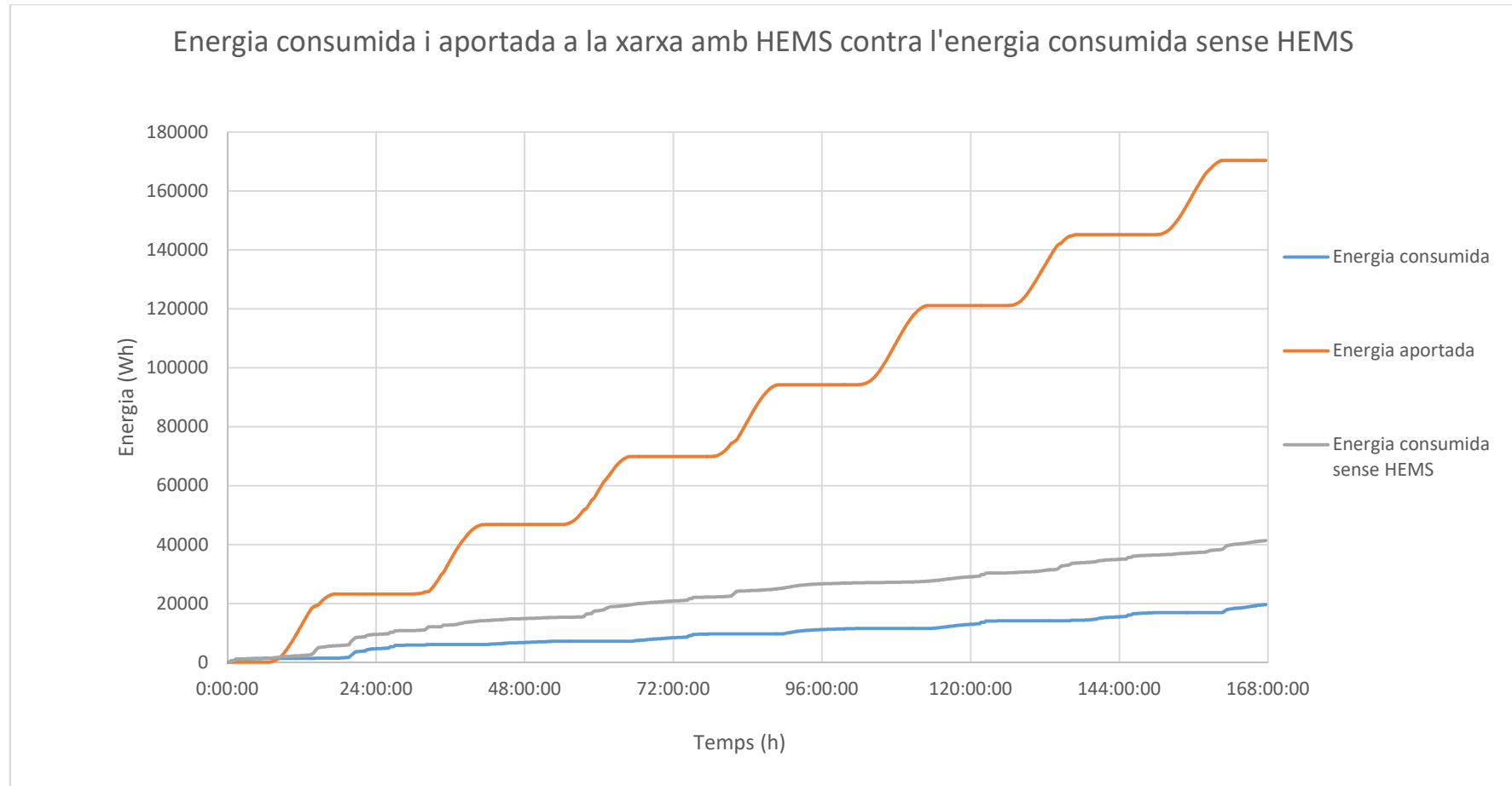


Gràfica 3.26. Gràfica del nivell del banc de bateries. (Font: Generació pròpia)

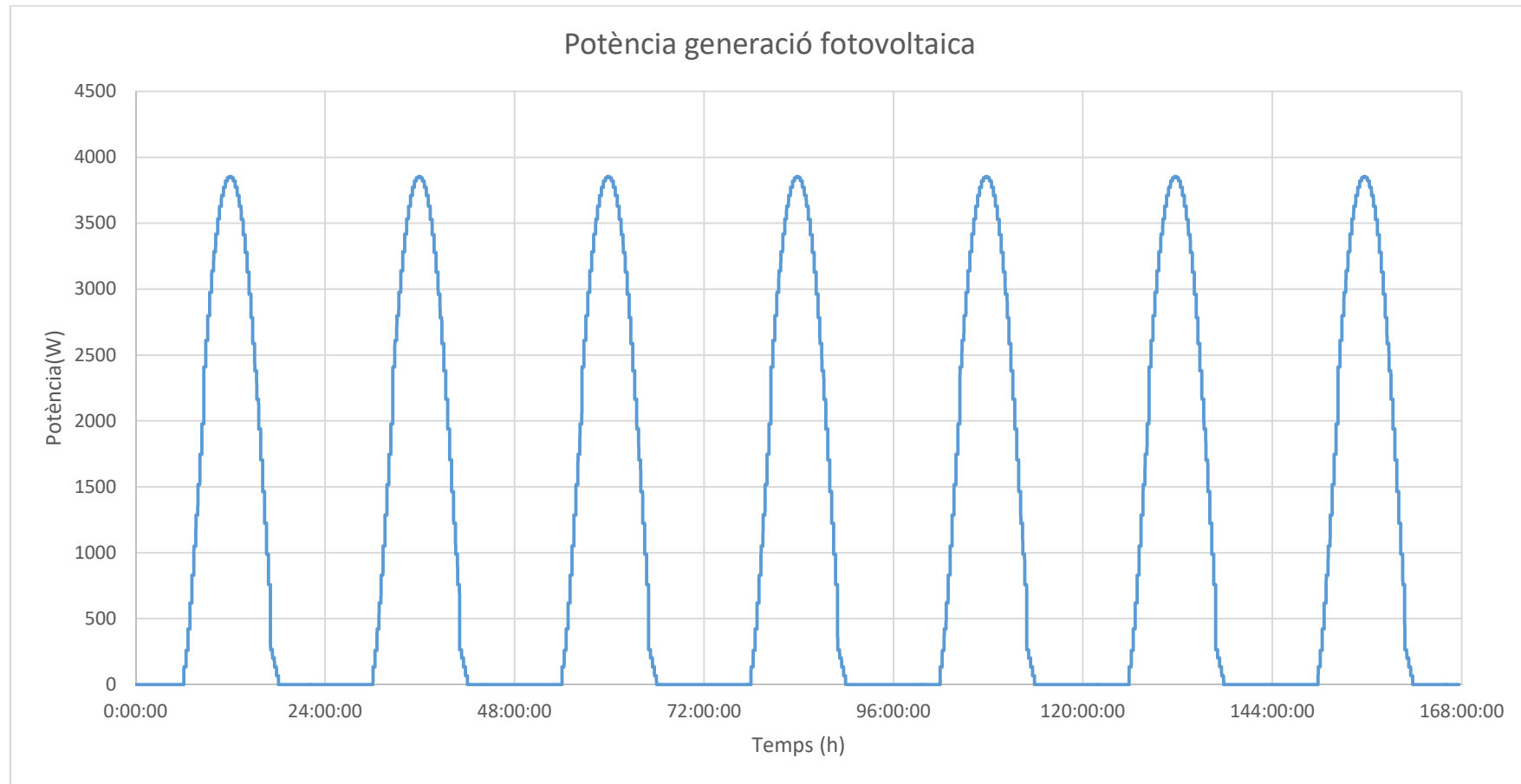


Gràfica 3.27. Gràfica de les potències conjuntes del sistema. (Font: Generació pròpia)

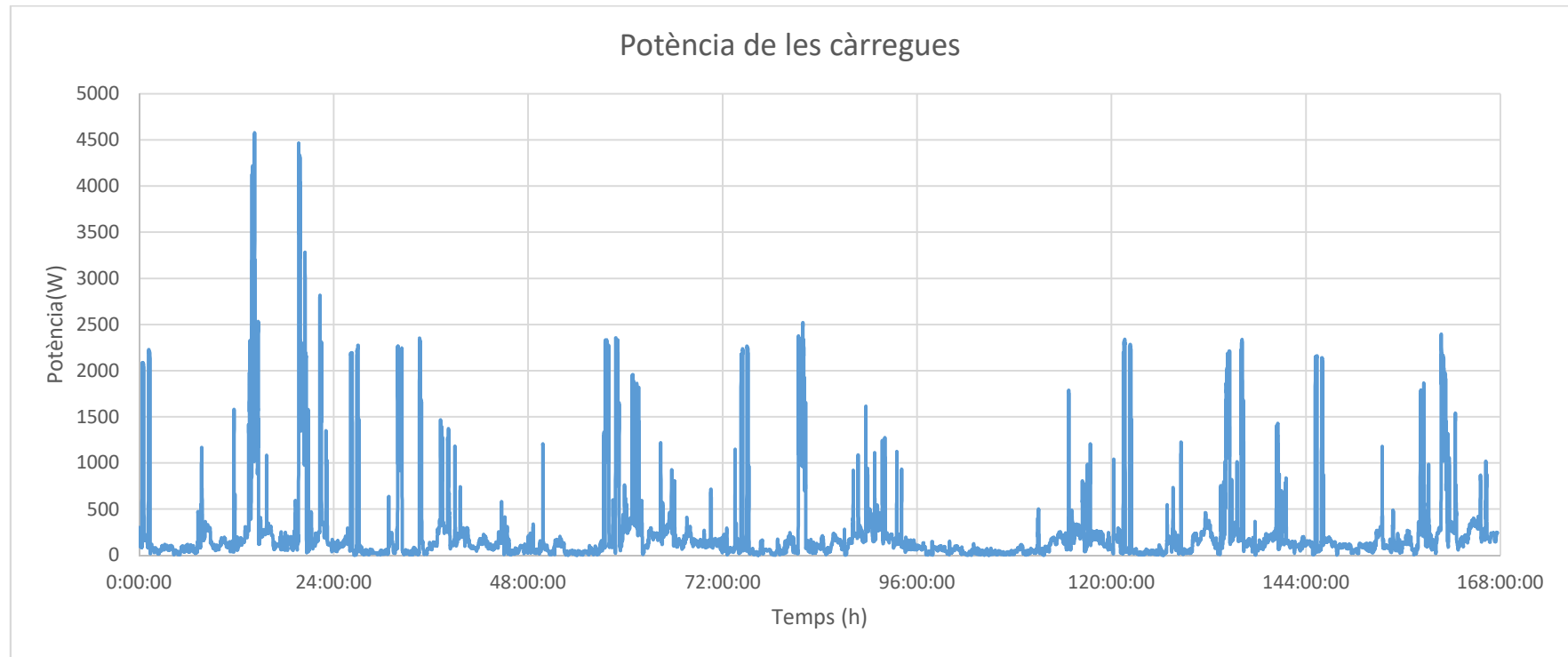
3.12.2. Simulació setmanal



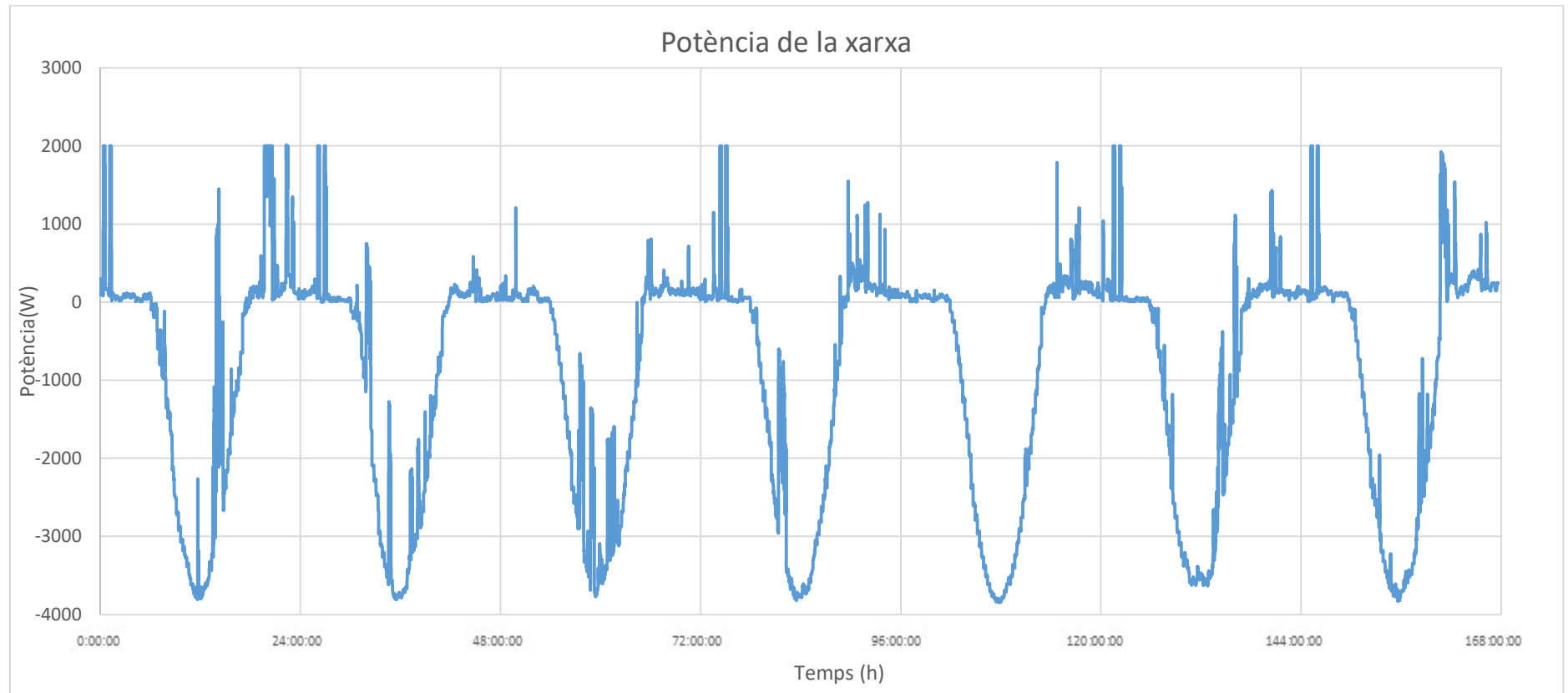
Gràfica 3.28. Gràfica del balanç d'energia setmanal. (Font: Generació pròpia)



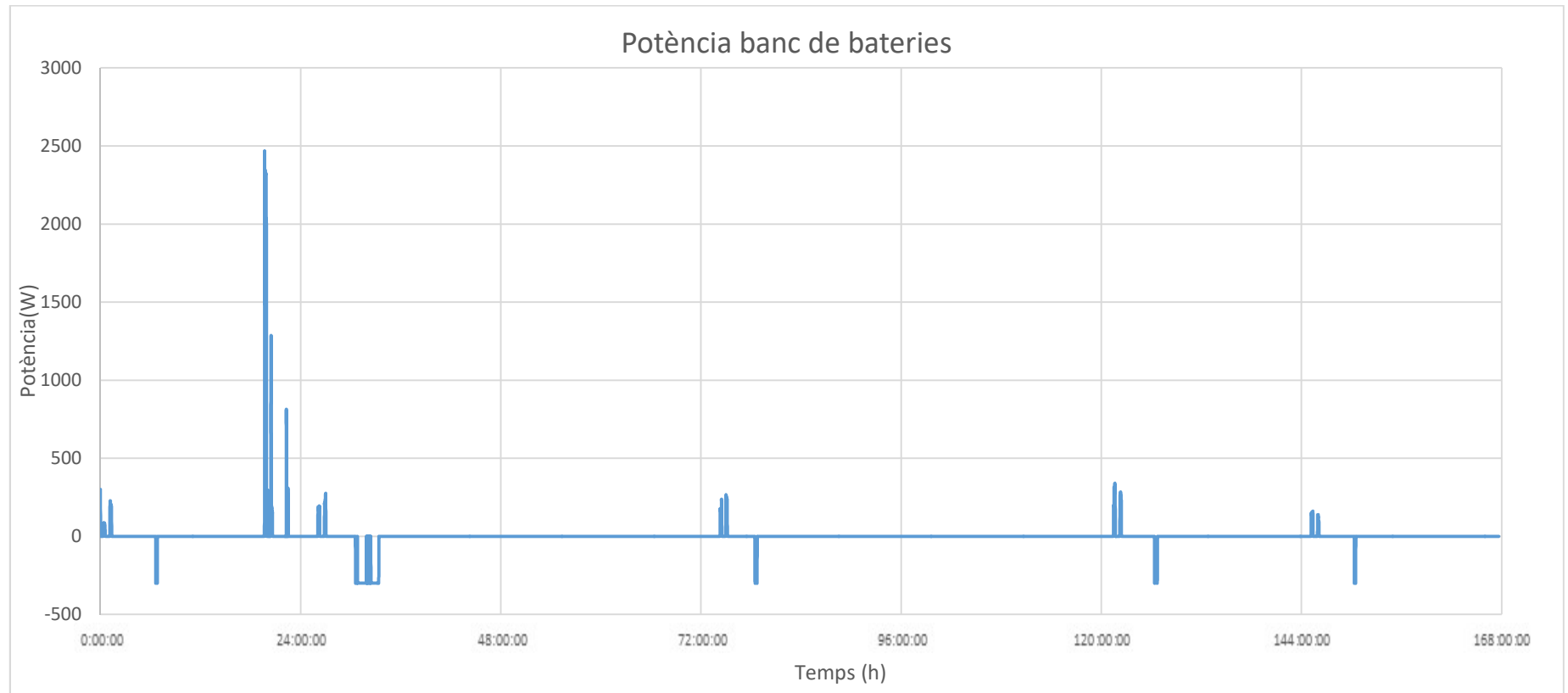
Gràfica 3.29. Gràfica de la potència de la instal·lació fotovoltaica. (Font: Generació pròpia)



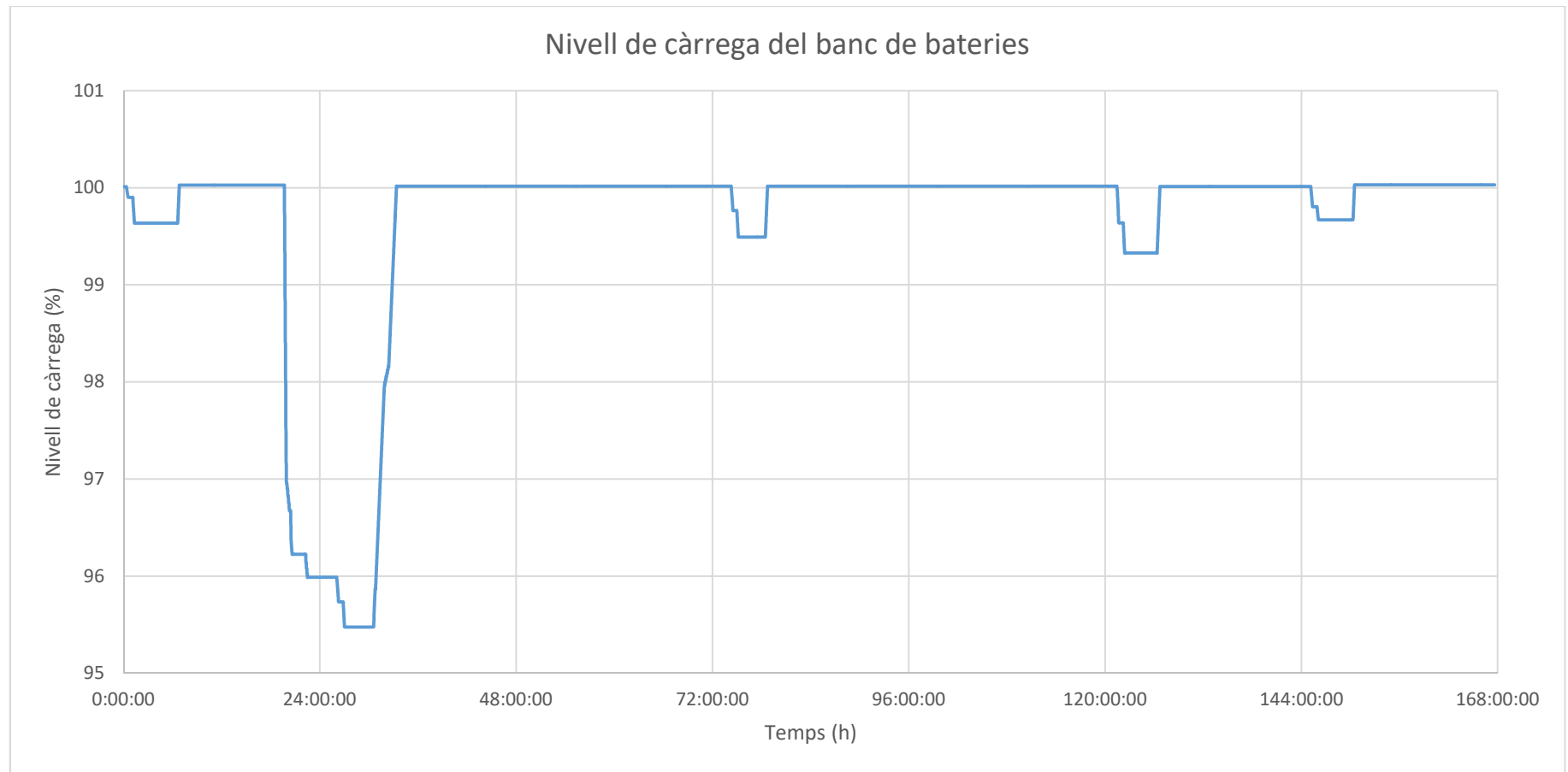
Gràfica 3.30. Gràfica de la potència de les càrregues. (Font: Generació pròpia)



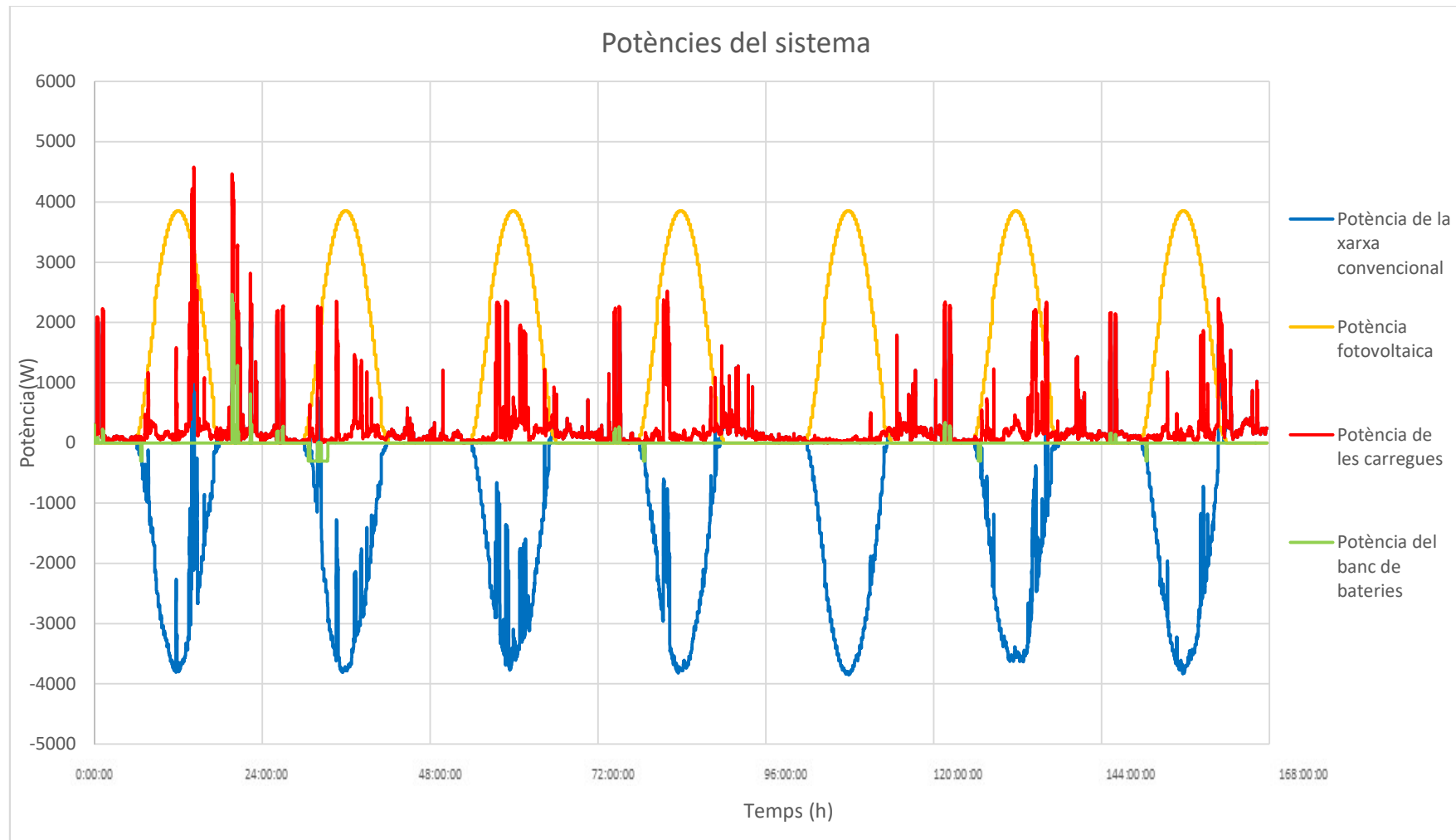
Gràfica 3.31. Gràfica de la potència de la xarxa convencional. (Font: Generació pròpia)



Gràfica 3.32. Gràfica de la potència del banc de bateries. (Font: Generació pròpia)

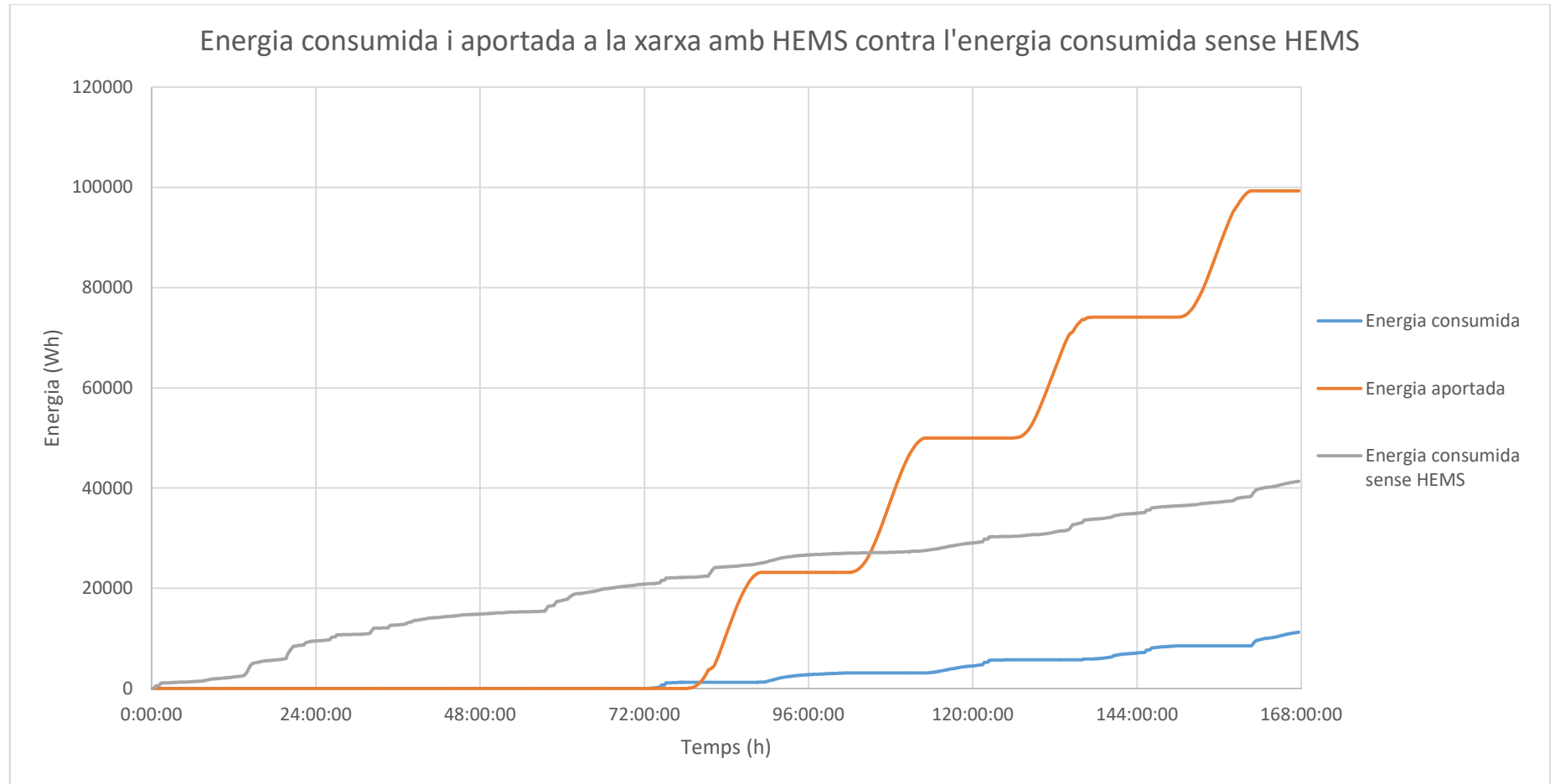


Gràfica 3.33. Gràfica del nivell del banc de bateries. (Font: Generació pròpia)

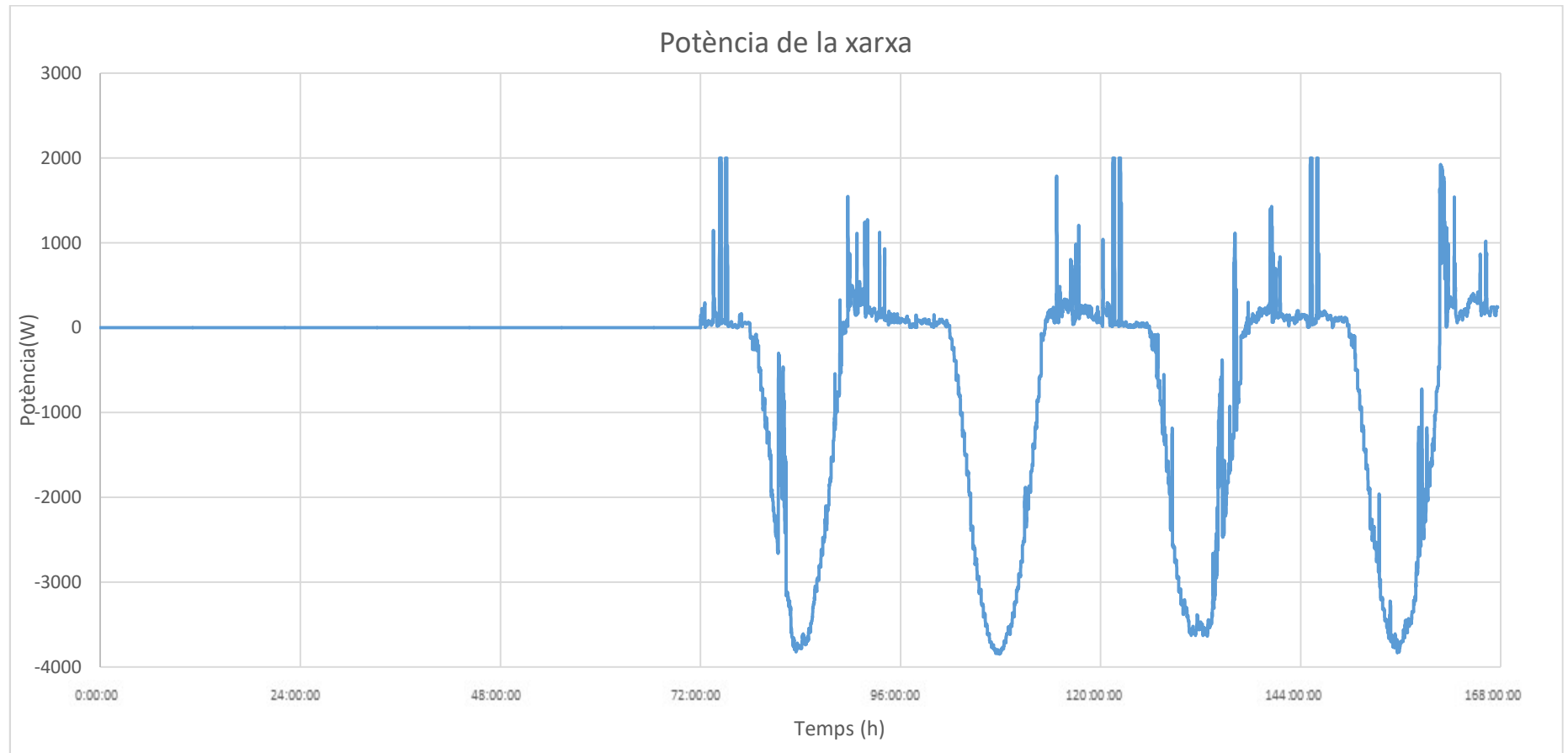


Gràfica 3.34. Gràfica de les potències conjunes del sistema. (Font: Generació pròpia)

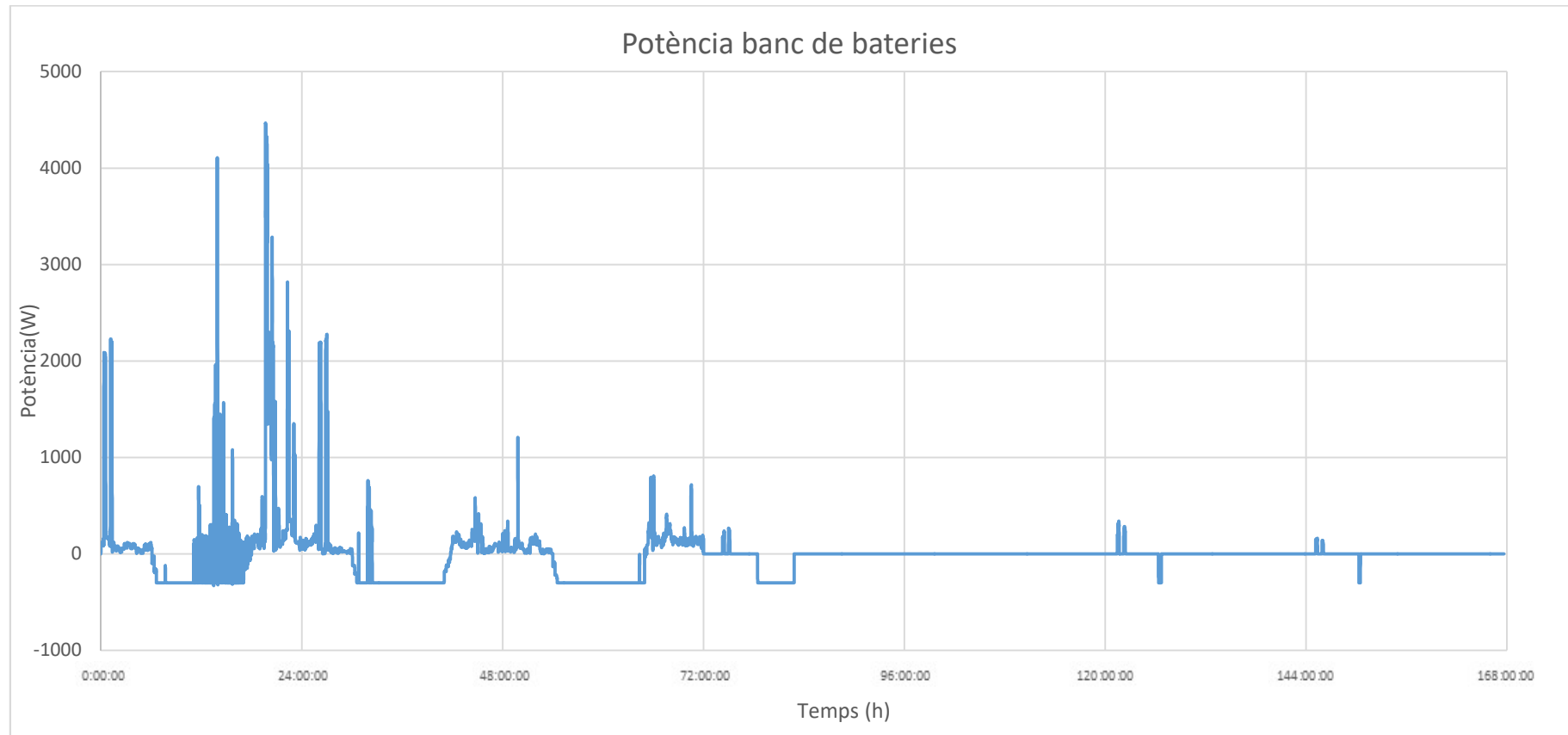
3.12.3. Simulació setmanal amb desconexió de la xarxa convencional durant tres dies



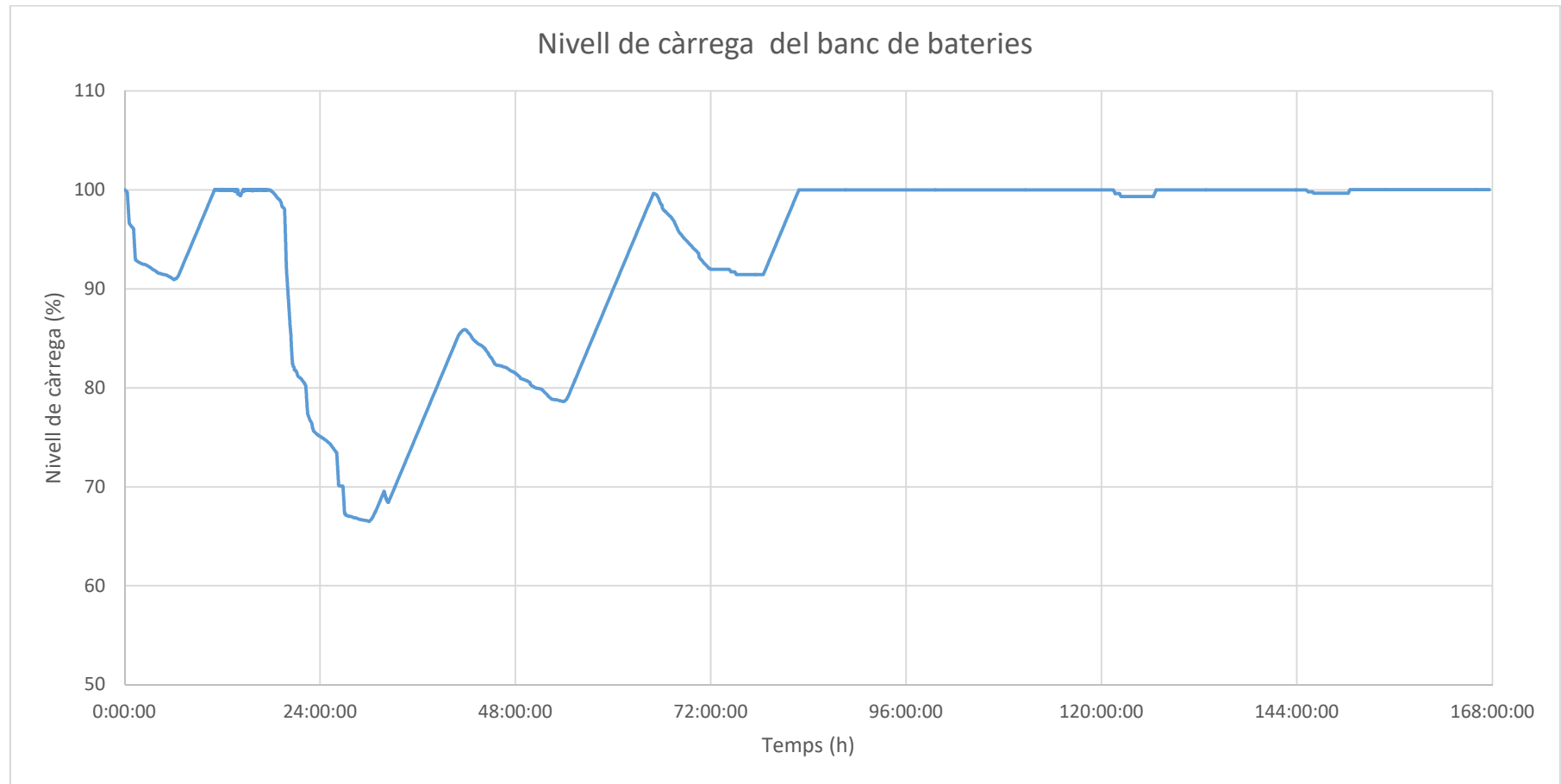
Gràfica 3.35. Gràfica del balanç d'energia setmanal. (Font: Generació pròpia)



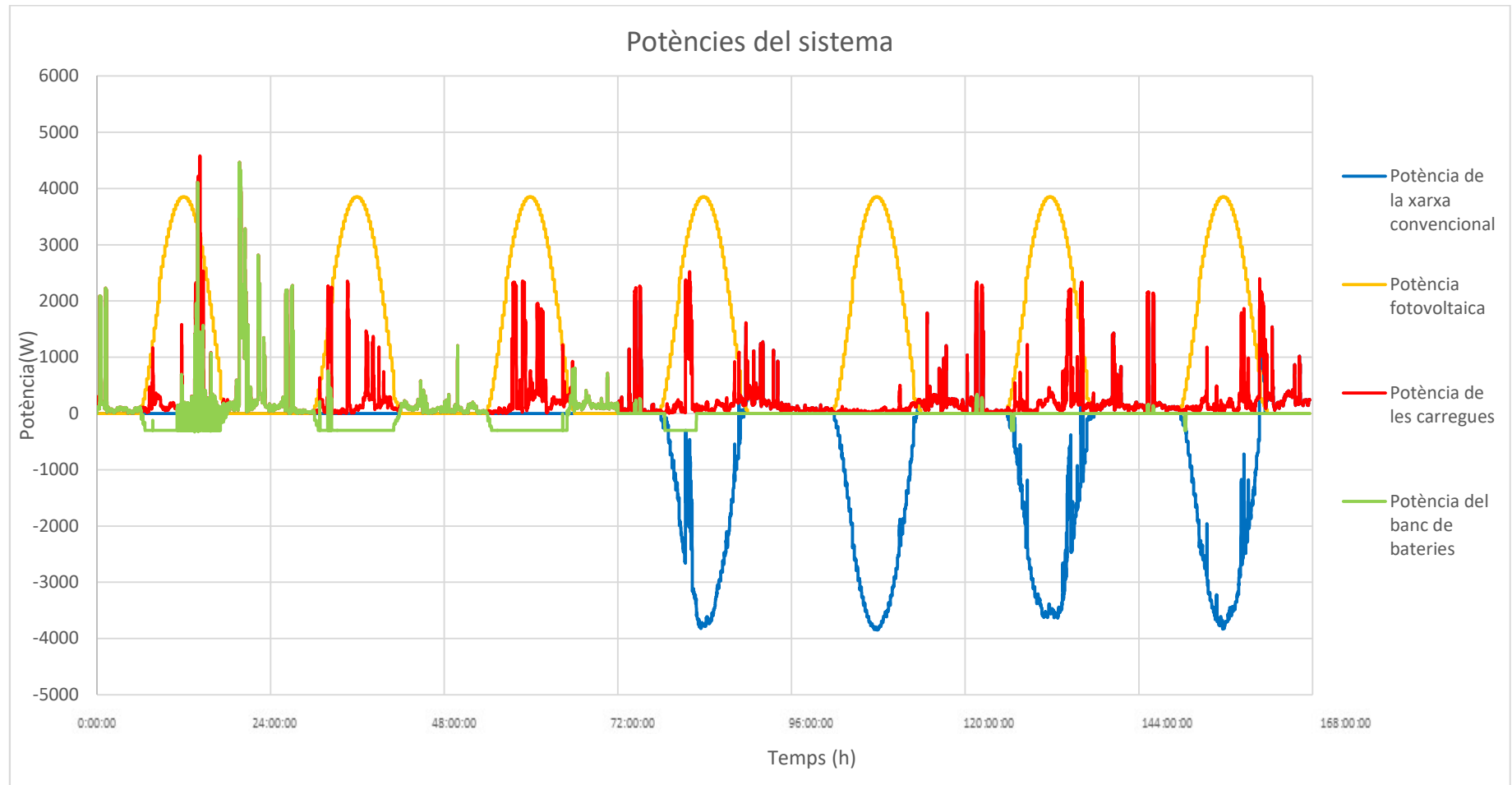
Gràfica 3.36. Gràfica de la potència de la xarxa convencional. (Font: Generació pròpia)



Gràfica 3.37. Gràfica de la potència del banc de bateries. (Font: Generació pròpia)



Gràfica 3.38. Gràfica del nivell del banc de bateries. (Font: Generació pròpia)



Gràfica 3.39. Gràfica de les potències conjunes del sistema. (Font: Generació pròpia)

3.12.4. Anàlisi dels resultats de la simulació

Un cop realitzada la simulació és important veure els punts claus i on es podria millorar el sistema, el comportament general del HEMS és molt positiu ja que ha aconseguit reduir en gran mesura el consum energètic, també ha aconseguit mantenir les bateries a plena càrrega malgrat que aquestes han fet carregues de *peak-shaving*. plànols

La xarxa ha rebut energia quan en teníem en excés i n'ha aportat quan la generació no donava l'abast, també en la simulació es va fixar un pic màxim de potència de 2kW a mode de test de fins on es podria baixa la contractació en cas de que es volgués i aquests 2kW mai s'han superat.

L'energia consumida en la simulació diària es redueix a la meitat previ instal·lació del HEMS i la generació fotovoltaica, la quantitat d'energia abocada a la xarxa puja a més de 20 kWh diaris, setmanalment la reducció del consum es manté a la meitat del consum anterior i l'energia abocada en aquesta setmana arriba a superar els 160 kWh.

Només prenent la simulació setmanal és fàcil d'assumir que amb una inversió superior en el banc de bateries la desconexió seria viable, inclús amb els mesos de menys radiació sembla ser que s'arribaria a cobrir la despesa local.

Per altra banda no es tenen històrics de les carregues en mesos d'estiu i d'hivern on aquestes típicament arriben als seus màxims de consum, en el cas de l'hivern seria un problema afegit ja que també són mesos amb menys radiació i d'aquí menys producció.

En una posterior revisió de la instal·lació es proposaria doblar o triplicar el volum del banc de bateries i assumir tot el consum de la pròpia instal·lació amb l'energia generada, per altra banda no es proposaria la desconexió ja que la generació supera en 4 vegades el consum propi pel que la injecció remunerada a la xarxa és la millor opció.

Finalment en la setmana de 3 dies amb desconexió de la xarxa convencional es pot apreciar que malgrat la bateria arriba al 60% de la càrrega en alguns moments es recupera fàcilment, si s'optés per bateries de càrrega més ràpida i amb més capacitat el nivell de les bateries es mantindria més alt.

3.13. Anàlisi de l'impacte ambiental

L'impacte ambiental primari tindrà en compte la fabricació d'aquestes materials i sempre s'ha d'intentar obtenir el material per als projectes d'eficiència de fabricants que respectin el màxim el medi ambient en els seus processos de fabricació i si pot ser que aquests tinguin documents que ho certifiquin.

També s'ha de tenir en compte l'impacte visual que tindrà la instal·lació de plaques solars en la teulada de l'habitatge, aquesta danyarà lleugerament l'aspecte rural de la zona, per altra banda no hi ha fauna habitant l'entorn de la taula en la zona de la instal·lació pel que aquest no es considera un impacte directe.

Aquesta instal·lació produirà uns 650 kWh mensualment de manera neta amb un impacte ambiental gairebé nul, a més ajudaran a suplir aquesta quantitat que hauria de produir la xarxa elèctrica espanyola la qual encara compta amb formes de producció molt contaminants com són els cicles combinats.

Ambientalment es valors molt favorablement la instal·lació ja que s'aconsegueix tenir un gran impacte en l'estalvi energètic i aprofitament dels recursos naturals provocant un dany mínim en retorn.

Si aquest tipus d'instal·lacions no estiguessin tan castigades legislativament i més llars es veiessin capaces de fer la inversió inicial podríem assolir fites de producció renovable a espanya com les d'alemanya que produeix un 30% de l'energia anual que consumeix i han arribat a pics diaris en que s'han auto abastit en un 90% en aquest tipus de tecnologies.

Conclusions

Objectius personals assolits

Un cop finalitzada la formació en el grau d'enginyeria de la energia m'he vist capaç d'elaborar aquest projecte gracies als coneixements obtinguts al llarg de la carrera formativa realitzada a l'EUETIB i acabada a l'EEBE.

En el projecte ha servit per assentar coneixements previs al igual d'establir-ne de nous com és la ISO 50001, les microxarxes o els gestors d'energia intel·ligents, també ha forçat una bona gestió del temps disponible i l'eficiència d'aquest.

S'ha après a afrontar un projecte de disseny des de una mancança inicial i intentant sempre arribar a compensar-la a partir d'establir bones bases i procediments fins a assolir un disseny funcional per a l'objecte desitjat, aquesta practica com a enginyer serà molt útil al llarg de la carrera professional a fi de seguir trobant solucions als problemes plantejats diàriament.

Objectius assolits pel treball

El treball es plantejava la necessitat d'arribar a un gestor d'energia intel·ligent capaç de gestionar l'energia de una vivenda unifamiliar, aquest s'ha complert i inclús s'ha simulat una aplicació de ell en un entorn real amb èxit.

S'ha aconseguit estructurar el treball de manera ordenada i utilitzant bones formes en els procediments i mitjançant aquests s'ha assolit l'objectiu inicial principal.

També s'ha aconseguit delimitar les parts del treball modularment per tal de poder anar construint un document que es pugui analitzar des de varis extrems de manera entenedora i mantenint la cohesió del conjunt.

Durant tot el projecte s'ha intentat que aquest es mantingués sempre dins la legislació actual del país per tal de que la seva simulació d'aplicació sempre fos viable, aquest fet s'ha aconseguit i inclús aquesta legalitat s'ha hagut d'usar tan per delimitar certes parts del treball com per valorar el seu resultat.

Un cop dissenyat el gestor d'energia s'ha aconseguit verificar l'eficiència d'aquest i el seu funcionament òptim per tal de poder determinar que aquest n'és un de funcional i que la seva gestió de l'energia és eficient.

El projecte també plantejava que en la simulació de la vivenda aquesta pogués aguantar 3 dies seguits de desconexió de la xarxa, en les simulacions s'ha assolit aquesta fita.

També es volia poder fer una valoració econòmica final de l'aplicació del projecte i veure quin és el temps de retorn de la inversió inicial, aquesta s'ha realitzat i malgrat la retribució per l'abocament segurament canviarà varies vegades en els propers 10 anys aquesta ens dona una idea de la viabilitat del projecte.

Continuació del treball

El treball es podria continuar per varies vies, primerament es podria aprofundir en el disseny del HEMS i donar-li a aquest un disseny físic delimitat escollint els components i convertir-lo en un producte físic que podria acoblar-se a qualsevol instal·lació que compleixi el perfil de planteig d'aquest treball.

Per altra banda també es podria aprofundir en les simulacions preses i estudiar molts més escenaris, intentar quadrar la generació a la demanda exacta de la casa o calcular quins volums de generació i emmagatzematge serien més atractius en segons quins escenaris.

Finalment es podria dur a terme la instal·lació d'aquesta aplicació en la vivenda real i cobrir tota la obra en el document, veure si a la practica aquest seria tan viable com ho és en el paper i també poder veure quines dificultats adicional es plantegen a la vida real.

Altres mencions serien aprofundir en les connexions de tota la instal·lació a nivell unifilar, aprofundir a nivell de temps i veure els comportaments instantanis i transitoris o fer el següent disseny del HEMS on aquest encara podria regular més variables com és l'aigua sanitària de la vivenda o els termòstats i calefacció.

Pressupost i Anàlisi Econòmica

En aquest document es mostrarà tan el pressupost com l'anàlisi econòmic de l'aplicació en l'habitatge mentre que en un document a banda es presentarà el pressupost del cost de l'enginyeria de la producció d'aquest treball.

Pressupost del material

Element	Cost unitari (€/unitat)	Quantitat	Total (€)
Mirubee box	150	1	150
Mòdul solar CHSM6612P	200	20	4000
Bateria 12V 85Ah	90	15	1450
Bateria 12V Alt rendiment 250Ah	300	1	300
Comptador bidireccional	200	2	400
Comptador estàndard	120	1	120
Plataforma compacta HEMS SHP	2000	1	2000
Sensors diversos	50	5	250
Cablejat de coure normalitzat	Variable	500 m	650
Total			9320

Taula 1. Taula del pressupost del cost del material. (Font: Generació pròpia)

Pressupost de la mà d'obra

Element	Cost unitari (€/hora)	Quantitat	Total (€)
Operari instal·lació fotovoltaica	25	40	1250
Operari instal·lació Bateria	25	20	500
Operari instal·lació cablejat i diversos	20	25	500
Operari instal·lació HEMS i optimització	40	40	1600
Total			3850

Taula 2. Taula del pressupost del cost de la mà d'obra. (Font: Generació pròpia)

Anàlisi del pressupost i viabilitat econòmica

El cost total de la instal·lació és de 13.170 euros aquest inclou tan materials com mà d'obra, per calcular el temps de retorn de la inversió necessitem conèixer els costos anteriors del subministrament elèctric.

Prèviament els costos mensuals de la factura de la llum rondaven els 120 euros, aquests es reduiran a la meitat després de la instal·lació.

Si l'abocament a xarxa no fos remunerat el retorn de la inversió contant un 2% d'inflació anual seria d'uns 19 anys.

Si afegim l'abocament contant tots els costos de peatge i autoconsum el kWh injectat a la xarxa es pot estimar a uns 7 cèntims el kWh, aquest preu varia anualment i de segur que la legislació canviarà diversos cops en els propers anys.

Tenint en comte aquestes premisses i la inflació comentada, s'estima un TIR de 10 anys i 6 mesos, on haurem recuperat la inversió, també s'ha de comentar que amb el nombre de cicles que tindran les bateries i la vida útil estimada d'aquestes i el panells solars podrien superar els 20 anys només tenint que condicionar el banc de bateries cada certs anys.

Bibliografia

- [1] AENOR. Energy efficiency. Energy conservation in general. Management systems (ISO 50001). 2011.
- [2] J. d. Estado. *UNE-EN ISO 50 001:2011*. 2011.
- [3] Center of sustainable energy [en línia]. [Consulta: Gener 2017].
Disponible a:
<<https://energycenter.org>>
- [4] Galvin Power information center [en línia]. [Consulta: Gener 2017].
Disponible a:
<<http://galvinpower.org/microgrids>>
- [5] General microgrids [en línia]. [Consulta: Gener 2017].
Disponible a:
< <https://www.generalmicrogrids.com/about-microgrids>>
- [6] Department of Energy [en línia]. [Consulta: Gener 2017].
Disponible a:
<energy.gov>
- [7] Department of Energy. Developing microgrids [en línia]. [Consulta: Gener 2017].
Disponible a:
< <https://building-microgrid.lbl.gov/about-microgrids>>
- [8] BOE. Real decreto 900/2015/ 2015.
- [9] BOE. Real decreto 1699/2014. 2014
- [10] BOE. Real decreto 413/2014. 2014
- [11] BOE. Real decreto 1955/2000. 2000.
- [12] BOE. Real decret 110/2007. 2007
- [13] IET/2444/2014
- [14] PVGIS data base. [en línia]. [Consulta: Gener 2017].
Disponible a:
<<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>>

Annex A

En l'annex A hi ha tots els plànols de l'habitatge que no s'han inclòs directament en la part redactada de la memòria:

- Ubicació exacta
- Primera planta
- Segona planta





